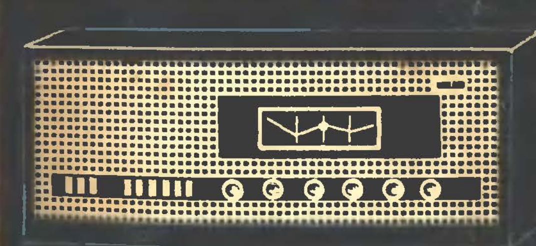
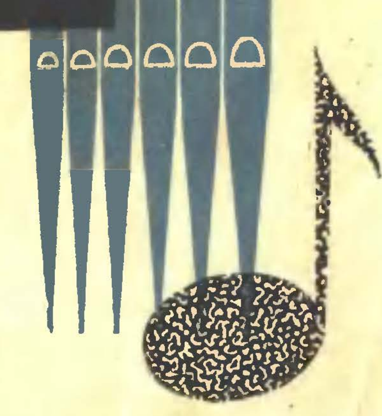
Цена 45 коп.

Г. С. Гендин



Высококачественное звуковоспроизведение







МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 722

Г. С. ГЕНДИН

ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОЕ ЗВУКОВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ



«ЭНЕРГИЯ»
МОСКВА 1970

6Ф2.7
Г34
УДК 681.84.086

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Берг А. И., Борисов В. Г., Бурдейный Ф. И., Бурлянд В. А., Ванеев В. И., Геништа Е. Н., Жеребцов И. П., Канаева А. М., Корольков В. Г., Кренкель Э. Т., Куликовский А. А., Смирнов А. Д., Тарасов Ф. И., Шамшур В. И.

Гендин Г. С.

Г34 Высококачественное звуковоспроизведение. М., «Энергия», 1970.

160 с. с илл. (Массовая радиобиблиотека, вып. 722).

Книга содержит систематизированные сведения по теории и практике конструирования аппаратуры высококачественного звучания. Приводится анализ отдельных элементов и всего тракта звуковоспроизведения. Последняя глава содержит описание пяти различных любительских конструкций усилителей и акустических агрегатов высококачественного звучания.

Книга рассчитана на подготовленных радиолюбителей.

3-4-5
332-69

6Ф2.7

ПРЕДИСЛОВИЕ

Высококачественное звуковоспроизведение в настоящее время стало одним из наиболее широких увлечений радиолюбителей. Дело, разумеется, не в моде, а в том, что значительно возросли требования радиолюбителей к качеству звуковоспроизведения, а наличие в продаже широкого ассортимента узлов и деталей позволяет собирать установки, звучание которых приближается к естественному.

За последние годы появилось немало систем, претендующих на название «высококачественные». Среди них можно назвать установки типа «3Д», «4Д», «объемные», «псевдостереофонические», системы с искусственной реверберацией, стереофонические и некоторые другие.

Обилие названий привело к тому, что постепенно исчезла четкая грань между обычными и высококачественными системами, и поэтому нередко, когда заходит речь о «высококачественном» звуковоспроизведении, бывает трудно точно определить предмет обсуждения. Этому в немалой степени способствовало и появление большого количества разнообразной литературы, в которой вопросы «высококачественного» звукоусиления и воспроизведения толковались достаточно вольно.

За рубежом в связи с этим получило распространение название «High Fidelity» (сокращенно Hi-Fi), что означает в переводе «высокая верность», «высокая точность». Этим термином обозначали системы, у которых верность (точность) воспроизведения звука по большинству параметров приближалась к идеальной (под идеальной будем понимать звуковоспроизводящую систему со столь малыми искажениями, что большинство слушателей при непосредственном сравнении не заметит никакой разницы между натуральной звуковой программой и программой, переданной через эту звуковоспроизводящую систему). Со временем термин Hi-Fi стал символом, определяющим высокий класс звуковоспроизводящей аппаратуры.

В дальнейшем изложении мы будем для краткости пользоваться этим термином.

Несмотря на отсутствие формального разграничения между обычными звуковоспроизводящими системами и системами Hi-Fi качественные показатели последних довольно четко определены.

В среде советских радиолюбителей, как впрочем и среди многих специалистов, в настоящее время нет единого мнения о том, что может быть отнесено к системам высококачественного звуковоспроизведения, каковы параметры этих систем, всегда ли нужны и оправданы на практике системы Hi-Fi. У авторов множества книг, посвященных этой теме, также нет единого мнения.

Целью данной книги является попытка более четко определить понятие «высококачественное» звуковоспроизведение. Та часть кни-

ги, в которой устанавливаются нормы, или точнее, границы параметров, по которым аппаратура могла бы быть отнесена к «высококачественной» (в дальнейшем всюду вместо «высококачественная» будет употребляться сокращение Hi-Fi), наверняка найдет не только сторонников, но и противников, поскольку понятие «качество звучания» весьма субъективно и зависит, если так можно выразиться, не только от параметров аппаратуры, но и от «параметров» слушателя, к которым можно отнести и индивидуальные особенности слухового аппарата, и музыкальные вкусы, и, наконец, то, что принято называть «степенью музыкальной культуры».

Наряду с более строгой систематизацией уже известных и опубликованных положений, в книге немало положений, или, лучше сказать, предложений, выдвинутых автором, с которыми читатель, разумеется, вправе не соглашаться.

Что же касается практического материала книги и описания конкретных конструкций усилителей и акустических систем, то все они неоднократно изготовлялись и испытывались как в любительских, так и в лабораторных условиях, и могут быть рекомендованы для повторения квалифицированным радиолюбителям, располагающим для этого необходимой материальной базой и соответствующей измерительной аппаратурой.

Автор

Глава первая

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО ЗВУКОВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ

1. АНАЛИЗ КАНАЛА РАДИОВЕЩАНИЯ И ЕГО СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ (ТРАКТОВ, ЗВЕНЬЕВ)

Прежде чем приступить к анализу тракта звуковоспроизведения, полезно вспомнить, что подразумевается под понятием «тракт», и как этот термин соотносится с термином «канал». В ГОСТ 11515-65 «Тракты радиовещательные. Классы. Основные качественные показатели» под термином канал радиовещания понимается весь комплекс аппаратуры и сред, участвующих в передаче информации от микрофона в студии до громкоговорителя. Любая часть канала радиовещания, выполняющая определенные функции, называется трактом радиовещания. В свою очередь отдельные части радиовещательных трактов называют звеньями.

Среда (окружающее пространство) играет очень важную роль в передаче информации, пожалуй, не меньшую, чем собственно радиовещательная аппаратура, поэтому влияние среды непременно должно учитываться при проектировании того или иного канала или аппаратуры вещания.

Рассмотрим упрощенную блок-схему радиовещательного канала (рис. 1). Здесь номером *1* обозначена среда между исполнителем (источник информации) и микрофоном *2*, являющимся преобразователем акустического (звукового) сигнала в электрический сигнал.

Если бы вместо окружающей среды *1* был вакуум, передача акустической информации от ее источника к звену *2* оказалась невозможной, так как звук в вакууме не распространяется. Уже одно это соображение показывает, сколь велико влияние среды на передачу информации. Среда участка *1* может представлять собой не только воздух. Например, в гидроакустике в качестве среды передачи рассматривается жидкость.

В зависимости от характера информации и поставленных задач те или иные свойства среды могут играть решающую роль или быть несущественными. Например, воздух во время телевизионной передачи может оказаться малопрозрачным из-за тумана, наличия дыма или окрашенных газов, и это никак не отразится на качестве передачи звука, тогда как передача изображения будет невозможна. Наоборот, непригодность воздушной среды для передачи звуковой части телевизионной программы ввиду сильного шума никак не отразится на передаче изображения.

В рассматриваемой нами блок-схеме среда, в которой распространяется вещательный сигнал, встречается еще дважды: в виде про-

странства, через которое осуществляется передача радиоволн *8*, и в виде воздуха помещения *12*, в котором находятся оконечный преобразователь канала радиовещания — громкоговорители и слушатель.

В настоящей книге речь идет не о всем радиовещательном канале, а лишь об одном из его участков, а именно — низкочастотном приемном тракте. Иначе говоря, мы не будем рассматривать оборудование радиовещательных студий и радиочастотную часть канала. Поэтому в дальнейшем, употребляя термин «низкочастотный тракт» (или для краткости, просто «тракт»), мы будем подразумевать путь низкочастотного (звукового) сигнала от носителя или источника сигнала (граммофонной пластинки, магнитной фонограммы, детектора приемника, линии проводного вещания) через усилители низкой частоты и среды, служащие переносчиком сигнала, к слушателям.

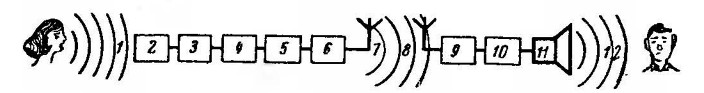


Рис. 1. Блок-схема радиовещательного канала.

1 — акустическая среда «А»; *2* — микрофон; *3* — микрофонный усилитель; *4* — регулирующие устройства, промежуточный и линейный усилитель; *5* — модулятор; *6* — радиопередатчик; *7* — передающая антенна; *8* — среда, в которой распространяются радиоволны; *9* — радиоприемник; *10* — УНЧ; *11* — электроакустический преобразователь; *12* — акустическая среда «Б».

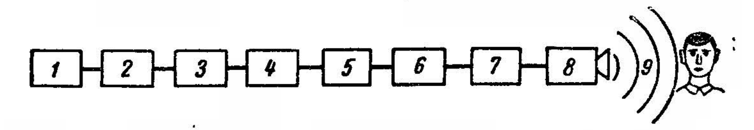


Рис. 2. Блок-схема тракта воспроизведения грамзаписи.

1 — источник (носитель) сигнала; *2* — звукосниматель (датчик-преобразователь); *3* — согласующее и корректирующее звено; *4* — блок регулировок; *5* — усилитель напряжения; *6* — усилитель мощности; *7* — соединительные линии с разделительными фильтрами; *8* — громкоговоритель (электроакустический преобразователь); *9* — среда «Б».

В соответствии с принятым ограничением приведем для примера блок-схему тракта воспроизведения грамзаписи (рис. 2). Количество звеньев тракта не является постоянным и может меняться в зависимости от назначения, класса качества и типа усилительной аппаратуры. Так, например, усилитель может содержать один или несколько каскадов самого разнообразного назначения: каскады усиления напряжения и мощности, фазоинверторы, катодные повторители, смесительные (микшерные) каскады, блоки регулировки уровня и тембра.

Если источников сигнала несколько, то между ними и входным каскадом усилителя включают дополнительное звено — коммутатор (переключатель). Блок регулировок может состоять всего лишь из одного регулятора уровня, а может иметь и несколько плавных и ступенчатых регуляторов уровня и регуляторов тембра, переключаемые фильтры и другие устройства.

Наряду с этим нетрудно выделить и такие звенья, наличие которых совершенно необходимо в любом тракте звуковоспроизведения, независимо от его типа, назначения, схемы.

В первую очередь к ним относится источник сигнала. Под источником сигнала в случае воспроизведения грамзаписи следует подразумевать грампластинку, а не звукосниматель, как ошибочно полагают многие радиолюбители. При магнитной записи источником сигнала служит магнитная фонограмма, при воспроизведении радиопередач — выход детектора приемника. В случае усиления программы, поступающей по городской трансляционной сети, источником сигнала следует считать выход линии проводного вещания, т. е. практически — штепсельную розетку, в которую включен абонентский громкоговоритель. У адаптеризованных музыкальных инструментов источником сигнала является сам инструмент (а не адаптер!). Наконец, у электромузыкальных инструментов источником сигнала правильнее считать выход блока формирования сигнала до оконечного усилителя, хотя при этом регуляторы, обычно входящие в усилительный тракт (например, регуляторы тембровой окраски, переключатели регистров и т. п.), окажутся внутри самого источника сигналов.

Что касается среды между источником сигнала и преобразователем сигнала, то на первый взгляд может показаться, что в случае воспроизведения магнитной фонограммы или грамзаписи никакой связующей среды нет. Однако это мнение ошибочно. Достаточно вспомнить о магнитном поле, воздействующем на воспроизводящую головку магнитофона, о результатах неравномерного или неплотного прилегания магнитной ленты к зазору головки, об акустической обратной связи в радиолах, о «шуме мотора» в электрофоне и ряде других подобных явлений, при которых мешающее воздействие на датчик-преобразователь осуществляется именно через окружающую среду.

Очевидно также, что если мы договорились рассматривать среду между источником сигнала и датчиком-преобразователем как звено тракта передачи информации, то к этой среде (назовем ее условно средой «А») должны быть отнесены и провода от штепсельной розетки линии проводного вещания или от выхода детектора приемника до входа усилителя низкой частоты или коммутатора.

Заметим, однако, что шланг от микрофона до входа усилителя уже не будет относиться к среде «А», так как он начинается ПОСЛЕ датчика-преобразователя.

Итак, источник сигнала и окружающая его среда являются обязательными звеньями любого тракта. Далее следуют усилительные устройства. Обязательным звеном тракта является устройство для обратного преобразования сигнала из электрической формы в акустическую (звуковую). В рассматриваемом нами низкочастотном тракте такими преобразователями являются одиночные громкоговорители, громкоговорящие агрегаты и головные телефоны.

Наконец, между громкоговорителями и слушателем присутствует акустическая среда (назовем ее условно средой «Б»), причем свойства этой среды также влияют на конечный результат звукоусиления — качество звучания.

Если бы здесь шла речь о простейших звуковоспроизводящих трактах, то их блок-схемы могли бы быть ограничены перечислен-

ными обязательными звеньями. Однако мы рассматриваем системы высококачественного звуковоспроизведения, задача которых — возможно более верно, с высокой степенью точности донести звуковую информацию от источников сигнала до слушателя.

Поскольку мы не можем полностью устранить влияние факторов, искажающих частотную характеристику звукового канала, приходится вводить дополнительное звено, задачей которого является исправление, коррекция частотных искажений сигнала, возникающих по различным причинам внутри самого тракта. Корректирующее звено является очень важной частью тракта. Иногда оно бывает наиболее сложным звеном тракта, потому что в него, кроме корректирующих цепочек, входят и усилительные каскады. Часто применяют переменную коррекцию. Тогда в схему корректирующего звена добавляют регуляторы или переключатели.



Рис. 3. Обобщенная блок-схема звукового Hi-Fi тракта:

ИС — источник сигнала; *А* — среда «А», *ДП* — датчик-преобразователь сигнала; *КЗ* — корректирующее звено; *ОПС* — оконечный преобразователь сигнала; *Б* — среда «Б»; *ПИ* — потребитель информации (слушатель).

При знакомстве с любой, самой сложной системой высококачественного звукоусиления можно представить ее в виде обобщенной блок-схемы, изображенной на рис. 3. Каждое из ее звеньев вносит искажения, поэтому наличие корректирующего звена является обязательным.

При такой постановке вопроса само конструирование высококачественной аппаратуры приобретает иной смысл, становится очевидной вся ошибочность весьма распространенного в среде радиолюбителей взгляда на то, что высокого качества звучания можно достигнуть, лишь сконструировав какой-то сверхсложный многоламповый УНЧ или построив необычайную акустическую систему из 10—20 громкоговорителей. Эта почти мистическая вера в то, что «сложное всегда хорошо», чаще всего порождена непониманием простейших физических закономерностей. Сторонники такого взгляда, с одной стороны, игнорируют влияние среды на качество звучания и, с другой стороны, не понимают, что почти каждое звено тракта вносит те или иные искажения в сигнал, и добавление новых звеньев может служить причиной возрастания искажений. Поэтому любое усложнение тракта должно быть убедительно обосновано и оправдано.

Но главное даже не в этом. Главное, о чем всегда необходимо помнить конструктору высококачественной аппаратуры, состоит в том, что с помощью корректирующего звена лишь сводят к приемлемому минимуму те искажения, которые вносит в полезный сигнал сам тракт, и в частности среды «А» и «Б».

Поэтому правильнее всего начинать не с исправления уже искаженного сигнала, а вначале постараться учесть и свести к минимуму искажения в месте их возникновения.

Здесь важнее всего найти такие схемные и конструктивные решения, которые позволят с минимальными потерями качества передавать сигнал от звена к звену. Практика показывает, что именно здесь, на стыке соседних звеньев возникают наибольшие потери качества сигнала (разумеется, если сами звенья сконструированы и выполнены правильно и не вносят дополнительных искажений в сигнал).

К таким «стыкам» относятся все переходные междукаскадные и междублочные соединения, в частности трансформаторы, согласующие и корректирующие цепочки, а также среды «А» и «Б». Именно здесь возникают наибольшие искажения, и поэтому именно на них следует обращать основное внимание при конструировании.

Поскольку каждый из этих вопросов по объему и важности является самостоятельным, они будут более подробно рассмотрены далее.

Нередко весь тракт разбивают на несколько отдельных частичных трактов, которые могут быть как полностью идентичными, так и совершенно различными по параметрам и характеристикам. Во всех таких случаях возникают дополнительные задачи по правильному разделению общего сигнала по частичным трактам и по синтезированию из отдельных обработанных сигналов общего, полного сигнала.

Эти задачи также весьма сложны, поэтому мы рассмотрим их отдельно в соответствующем разделе книги.

2. ХАРАКТЕРИСТИКИ И КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ТРАКТА В ЦЕЛОМ И ЕГО ОТДЕЛЬНЫХ ЗВЕНЬЕВ

Сквозные характеристики тракта складываются из характеристик его отдельных звеньев. Характеристики некоторых из них (назовем их условно неуправляемыми звеньями) являются вполне определенными, однозначными. Изменить их бывает очень трудно или даже невозможно. Характеристики других звеньев (управляемых), напротив, легко поддаются изменению и могут быть сделаны любыми по нашему желанию.

Примером первых могут служить акустические характеристики помещения, в котором происходит звуковоспроизведение (среды «Б»): коэффициенты отражения и поглощения звука и их частотный ход, время реверберации, наконец, площадь, форма, объем помещения. Примером вторых являются частотные характеристики, коэффициент усиления, выходная мощность усилительного тракта.

Поскольку перед нами в конечном итоге всегда стоит задача получения некоторых оптимальных для данного случая характеристик всего тракта в целом, то гибкость характеристик управляемых звеньев и их количественные пределы должны позволять в какой-то мере компенсировать недостатки характеристик неуправляемых звеньев.

Характеристики неуправляемых звеньев на практике оказываются исключительно разнообразными и меняются от случая к случаю в очень широких пределах. Поэтому и характеристики управляемых звеньев должны быть также довольно гибкими.

Прежде чем переходить дальше к конкретному рассмотрению характеристик Hi-Fi тракта, представляется полезным высказать несколько общих соображений. Дело в том, что до сих пор термин «High Fidelity» и схожие с ним по смыслу русские названия «аппаратура высококачественного звучания», «аппаратура ВВВ»

(высокой верности воспроизведения), «широкополосные НЧ установки» не выражали каких-либо конкретных, четко ограниченных характеристик или параметров (тем более, связанных между собой определенным образом), а просто предполагали, что такая аппаратура чем-то выгодно отличается от обычной радиовещательной аппаратуры, причем у этой последней также не имелись в виду какие-то конкретные параметры.

Отсутствие конкретности в определении терминов Hi=Fi, ВВВ и им подобных породило произвольность толкования понятия «высокое качество звучания», в связи с чем представляется целесообразным внести ясность в этот вопрос.

Автор понимает, что такая «ясность» может явиться лишь результатом широкого обсуждения этого вопроса большим кругом специалистов. Тем не менее он считает возможным предложить свою точку зрения как исходную для такого обсуждения.

Итак, если принять условно, что аппаратура «Hi-Fi» в любых случаях должна быть лучше (во всяком случае не хуже) массовой серийной радиовещательной аппаратуры, в том числе и первого класса, по каждому из параметров, то, вероятно, нетрудно составить такую таблицу (табл. 1), которая определит минимальные требования к Hi-Fi аппарату.

Таблица 1

Допустимая величина коэффициента нелинейных искажений, включая громкоговорители, %, в области частот:	
а) до 200 *гц*	3,0
б) свыше 200 *гц*	2,0
Выходная мощность, *вт*, при допустимых значениях к.н.и. на частотах:	
а) до 5 *кгц*	10,0
б) выше 5 *кгц*	4,0
Неравномерность частотной характеристики коэффициента передачи тракта, *дб*:	
а) по напряжению	± 2,0
б) по звуковому давлению	±10,0
Динамический диапазон, *дб*:	
а) сквозной	50,0
б) электрического тракта	66,0
Отклонение фактических кривых тонкомпенсации при регулировании громкости от идеальных кривых равной громкости, %	±15
Количество независимых участков полной полосы пропускания, регулируемых отдельными регуляторами тембра	2
Глубина регулировки тембра на частотах, соответствующих внешним границам регулируемого участка спектра, *дб*	±16
Ширина полосы пропускания всего тракта, *гц*	40—20 000
Взаимное влияние регуляторов тембра на граничной частоте, *дб*	±2,0
Число полосных (частичных) трактов	2—4

Эта таблица является некоторой усредненной, составленной по данным действующих ГОСТ на отечественную радиовещательную аппаратуру, фактическим данным серийных радиоприемников, табличным (справочным) данным зарубежной Hi-Fi аппаратуры широкого потребления, а также по ее фактическим характеристикам. Вполне понятно, что данные, приведенные в таблице, нуждаются в уточнении.

При рассмотрении таблицы сразу бросается в глаза наличие ряда новых параметров, не оговариваемых для обычной НЧ аппаратуры. Это объясняется тем, что резкое повышение требований к качеству звучания заставляет обычные характеристики доводить до такого совершенства, что при этом уже становятся существенными и те характеристики, о которых для посредственных аппаратов не приходилось и говорить.

И в то же время цифры, приведенные в табл. 1, сейчас уже не являются предельными, обеспечивающими идеальное качество звучания. Напротив, как уже указывалось выше, это лишь тот нижний предел, который позволяет провести грань между обычной и высококачественной НЧ аппаратурой.

Уже сейчас имеется ряд аппаратов, параметры которых значительно превосходят указанные в табл. 1, причем диапазон многих параметров таков, что вполне уместным становится вопрос о разделении всего многообразия Hi-Fi устройств в свою очередь по крайней мере на два класса, один из которых можно условно назвать «стандартный Hi-Fi класс», а второй — «экстра-класс».

Такое разделение будет тем более правомерно, что в ближайшие годы аппаратура Hi-Fi будет неуклонно совершенствоваться, и многие из сегодняшних «высококачественных» аппаратов в дальнейшем окажутся обычными, стандартными.

Если согласиться с таким разделением (разумеется, что названия для этих классов или групп совершенно условны и не принципиальны), то будет логично приведенные в табл. 1 параметры «стандартного Hi-Fi класса» определить численно и для «экстра-класса». Такие ориентировочные значения приведены в табл. 2.

Таблица 2

Полоса пропускания, *гц*:	
а) электрического тракта	10—50 000
б) сквозная (по звуковому давлению)	20—25 000
Неравномерность частотной характеристики коэффициента передачи тракта, *дб*:	
а) по напряжению	±2,0
б) по звуковому давлению	±6,0
Выходная мощность при допустимых значениях к.н.и., *вт*, на частотах:	
а) до 5 *кгц*	25,0
б) выше 5 *кгц*	10,0
Допускаемая величина коэффициента нелинейных искажений, включая громкоговорители, % в области частот:	
а) до 200 *гц*	1,5
б) выше 200 *гц*	0,5

Динамический диапазон, *дб*:

а) сквозной	60
б) электрического тракта	80
Отклонение фактических кривых тонкомпенсации при регулировании громкости от идеальных кривых равной громкости, %	±7,0
Количество независимых участков полной полосы пропускания, регулируемых отдельными регуляторами тембра	4
Глубина регулировки тембра на частотах, соответствующих внешним границам всей полосы пропускания тракта, *дб*	±20,0
Глубина регулировки остальных регуляторов тембра, *дб*	±15,0
Взаимное влияние регуляторов тембра на граничной частоте (частоте раздела), *дб*	±1,0
Число полосных трактов:	
а) для монофонических установок . .	3
б) для стереофонических установок .	4

Ряд характеристик, приведенных в таблицах, такие как полоса пропускания, коэффициент нелинейных искажений, выходная мощность, отличаются от аналогичных характеристик обычных систем только количественно, поэтому мы не будем на них останавливаться. Другие же характеристики полезно рассмотреть более подробно.

Динамический диапазон — один из важнейших показателей, характеризующих вещательный сигнал и качество тракта. Различают динамический диапазон сигнала и динамический диапазон тракта.

Музыканты, говоря о динамике исполнения того или иного произведения, имеют в виду размах, широту громкостей звучания, от самого тихого звучания (пианиссимо) до самого громкого (фортиссимо). В соответствии с этим художественным понятием появился технический термин — динамический диапазон вещательного сигнала. Под ним понимают отношение максимальной мощности, развиваемой за время данного исполнения музыкальным ансамблем или одним исполнителем, к минимальной мощности. Принято выражать динамический диапазон в логарифмических единицах — децибелах:

$$D = 10\lg \frac{P_{\text{макс}}}{P_{\text{мин}}}$$

В электрическом тракте отношение мощностей может быть заменено квадратом отношения соответствующих напряжений:

$$D = 10\lg \left(\frac{U_{\text{макс}}}{U_{\text{мин}}}\right)^2 = 20\lg \frac{U_{\text{макс}}}{U_{\text{мин}}}.$$

Сигнал с большим динамическим диапазоном подвергается в усилительном тракте различным искажениям. При больших мощностях возрастают нелинейные искажения. Слабые сигналы будут «замаскированы» шумами тракта. Поэтому вводят понятие динамического диапазона тракта — отношение наибольшей выходной мощности тракта при заданных нелинейных искажениях к мощности шумов и фона (в той же точке тракта). Динамический диапазон тракта также обычно выражают в децибелах.

Очевидно, что даже самые тихие звуковые сигналы не должны идти с той же громкостью, что и шумы, а должны значительно превосходить их. Поэтому динамический диапазон тракта на 10—20 *дб* должен быть больше динамического диапазона передаваемого по нему сигнала.

Поскольку тракты с большим динамическим диапазоном стоят дороже, в технике вещания принято ограничивать различными искусственными путями естественный динамический диапазон исполняемых произведений. Чаще всего для этого прибегают к ручной регулировке электрического сигнала, производимой особо подготовленным оператором — звукорежиссером. Очевидно, что при этом частично снижаются художественные достоинства передаваемого или записанного сигнала. В некоторых случаях удается улучшить качество воспроизводимого сигнала с помощью особых автоматических регуляторов — расширителей (экспандеров).

Тонкомпенсированное регулирование громкости является обязательным для любых систем Hi-Fi. Чувствительность человеческого слуха не зависит от частоты лишь при больших громкостях. По мере уменьшения громкости чувствительность к звукам низших — высших частот падает, что субъективно приводит к потере низкочастотных и высокочастотных составляющих сигнала. Поэтому для равного ощущения громкости на различных частотах при уменьшении ее абсолютной величины необходимо, чтобы частотная характеристика регулятора изменялась в зависимости от уровня сигнала по определенному закону, известному под названием «кривые равной громкости». Эти кривые довольно точно установлены и имеются в справочной литературе.

Создать регулятор громкости с плавной регулировкой, имеющий частотную характеристику, точно соответствующую кривым равной громкости, очень трудно, поэтому табл. 1 предусматривает отклонение фактических характеристик регулятора от идеальных на ±15% для систем «стандартного Hi-Fi класса». Для систем «экстра-класса» табл. 2 предусматривает более жесткие нормы.

Количество регуляторов тембра для обычных НЧ трактов, как правило, не превышает двух. Мы сохранили это минимальное количество и для систем «стандартного Hi-Fi класса». Однако два регулятора тембра («высших» и «низших» частот) не могут обеспечить формирование всех нужных сквозных частотных характеристик тракта, т. е. делают систему недостаточно гибкой для компенсации всех искажений, возникающих в неуправляемых звеньях тракта.

Поэтому для систем «экстра-класса» приходится предусматривать не менее четырех плавных регуляторов тембра и, кроме того, ступенчатый регулятор, обеспечивающий получение нескольких типовых характеристик типа «Джаз», «Концерт», «Интим», «Речь» и др.

Фактор демпфирования определяется нами как отношение выходного сопротивления усилителя ко входному сопротивлению громкоговорителя, подключенного к усилителю. Эта величина, несущественная для посредственных систем, приобретает очень важное значение для систем Hi-Fi. Физическая сущность демпфирования заключается в том, что выходное сопротивление усилителя шунтирует громкоговоритель и тем самым предотвращает или сводит

к минимуму свободные колебания излучателя звука после окончания возбуждающего импульса.

Идеально демпфированный излучатель должен совершенно безынерционно возбуждаться любым электрическим НЧ сигналом в пределах рабочей полосы частот и полностью прекращать колебания немедленно после снятия сигнала.

Разумеется, на практике никакая механическая система (в том числе и громкоговорители) не может быть безынерционной, поэтому после снятия сигнала колеблющаяся диафрагма (конус) громкоговорителя еще некоторое время продолжает совершать колебания, но уже не с частотой сигнала, а на частоте собственного механического резонанса, т. е. акустическая система помимо полезного сигнала создает дополнительный, собственный «призвук», который, безусловно, искажает подлинность передачи.

Частота собственного механического резонанса у мощных низкочастотных громкоговорителей лежит обычно в диапазоне 30—100 *гц*, поэтому отсутствие демпфирования приводит к так называемому «бубнению».

Чтобы устранить свободные колебания системы, необходимо увеличить ее затухание. Одним из способов увеличения затухания является шунтирование колебательной системы малым активным сопротивлением. Таким шунтом для громкоговорителей служит выходное сопротивление усилителя. Для получения эффективного демпфирования нужно уменьшать выходное сопротивление усилителя, что, в частности, достигается увеличением его выходной мощности, а также применять громкоговорители с большим электрическим сопротивлением или включать их последовательно.

Условия неискаженного усиления и воспроизведения низкочастотных и высокочастотных составляющих звукового спектра в значительной степени противоречивы. Противоречивость этих условий возрастает с увеличением номинальной мощности усилителя и громкоговорителя. Легче получить малые частотные и нелинейные искажения в том случае, если для передачи и воспроизведения сигнала с широким спектром разделить этот спектр на две и более полос, а усиление и воспроизведение вести с помощью нескольких усилителей и громкоговорителей.

Число полос монофонического Hi-Fi тракта должно быть не меньше двух. Соответственно для стереофонического звуковоспроизведения понадобится два двухполосных усилительных тракта и два акустических звуковоспроизводящих агрегата, также двухполосных.

Лишь простейшие стереофонические установки могут содержать два широкополосных тракта, однако и в этом случае электрический сигнал каждого тракта с помощью фильтров должен быть направлен к двум излучателям: низкочастотному и высокочастотному. В стереофонических системах «экстра-класса» каждый из стереотрактов должен быть разделен на два или три частичных тракта для отдельных полос спектра.

Относительно частот разделения спектра пока что нет единого мнения. Так, при разделении спектра на два участка (наиболее распространенный случай) ряд авторов рекомендует выбирать границу раздела в области 600—1 000 *гц*, другие же рекомендуют в качестве граничной частоту в диапазоне 3 000—5 000 *гц*.

Очевидно этот вопрос будет разрешен со временем, когда накопится достаточный опыт эксплуатации многополосных систем. Пока

же можно лишь утверждать, что частота раздела не должна лежать ниже 800 *гц* или выше 4 *кгц*.

Рассмотренными параметрами, разумеется, не исчерпывается характеристика Hi-Fi тракта, но ограниченный объем книги не позволяет рассмотреть тракт более подробно. Однако приведенных данных достаточно для того, чтобы представить себе требования, которые, по нашему мнению, должны предъявляться к системам высококачественного звуковоспроизведения.

3. МЕСТО И ЗНАЧЕНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ ЗВЕНЬЕВ В ТРАКТЕ

Каждое звено тракта имеет вполне конкретное и достаточно четко ограниченное назначение. Это значит, что основные функции тракта (усиление сигнала по напряжению и мощности, коррекция частотных искажений, согласование сопротивлений и др.) определенным образом распределены между его звеньями, специально приспособленными для наилучшего выполнения данной функции.

Разумеется, это не означает, что, например, усилитель напряжения не может одновременно выполнять и функцию фазоинвертора, но тем не менее каждому звену присущи одна или несколько вполне определенных функций. В то же время каждое звено, независимо от его назначения и устройства, влияет и на все остальные характеристики тракта в целом, причем чаще всего такое влияние бывает нежелательным и даже вредным.

Именно в этом свете целесообразно проанализировать значение каждого звена в тракте и его оптимальное расположение внутри тракта, так как отдельные звенья тракта могут располагаться в довольно произвольной последовательности, хотя не все такие последовательности будут равноценны по сложности и по величине вносимых искажений.

Прежде всего отделим такие звенья, место которых в любом тракте определяется однозначно. К ним относятся среды «А» и «Б», датчик-преобразователь сигнала источника, акустический преобразователь, усилитель мощности, согласователь нагрузки (чаще всего — выходной трансформатор).

Остальные звенья и элементы тракта могут быть расположены в различных местах тракта. Это — регуляторы уровня сигнала, регуляторы тембра, корректирующие фильтры источников сигнала, усилители напряжения, фазоинверторы, катодные и эмиттерные повторители, различные автоматические регуляторы и устройства и т. п.

Подробный анализ всех звеньев и элементов тракта будет дан в последующих главах, здесь же мы лишь укажем, на какие характеристики и параметры в основном влияет каждый элемент тракта и в какое место тракта это звено лучше всего включить.

Регулятор уровня сигнала (регулятор громкости) является одним из элементов, определяющих уровень шумов в тракте, а следовательно, и его динамический диапазон. При конструировании и изготовлении регулятора основное внимание должно быть уделено недопущению каких бы то ни было наводок на его цепи. Кроме того, надо помнить, что регулятор громкости является единственным элементом тракта, формирующим тонкомпенсацию — автоматическое изменение частотной характеристики тракта в зависимости от положения регулятора громкости, поэтому «кривые равной гром-

кости» от начала до конца должны формироваться и обеспечиваться в самой схеме регулятора.

При конструировании регулятора громкости и схемы тонкомпенсации необходимо учитывать, что большинство регуляторов создают спад частотной характеристики на высоких частотах при уменьшении громкости.

Место включения регулятора в тракте следует выбрать таким, чтобы при положении наибольшей громкости и номинальной выходной мощности сигнал на выходе регулятора на частоте 1 000 *гц* составлял не менее 0,1 *в*, но в то же время при пятикратном увеличении сигнала не возникали бы нелинейные искажения ни на входе, ни на выходе регулятора.

Так как нелинейные искажения на входе регулятора могут возникнуть только от перегрузки предыдущих каскадов, то регулятор желательно включать как можно ближе к началу тракта, приняв меры по предотвращению наводок. При входном сигнале выше 0,1 *в* регулятор громкости включают непосредственно на входе УНЧ, если же входной сигнал слишком мал, регулятор включают между первым и вторым каскадами усиления напряжения

Корректирующие контуры в цепях источников сигнала являются специфическим звеном Hi-Fi трактов. Их назначение — устранение частотных искажений, характерных для каждого отдельного источника, и приведение их частотных характеристик к некоторому «общему знаменателю». Более понятно это можно объяснить так: одно и то же музыкальное произведение, записанное на грампластинке, магнитной ленте или передаваемое по сети проводного вещания должно звучать на выходе тракта совершенно одинаково, причем при переключении источников в идеальном случае не должно возникать необходимости в каких бы то ни было регулировках внутри тракта.

Поскольку все источники сигнала имеют различные выходные параметры (разные уровни, формы частотных характеристик и т. п.), возникает необходимость включать в цепи источников делители напряжения и корректирующие контуры.

На практике чаще всего за эталон принимают идеализированный источник, имеющий выходное сопротивление порядка 0,5—1,0 *Мом* и горизонтальную частотную характеристику во всем рабочем диапазоне частот тракта и выходное напряжение порядка 100—200 *мв*, а реальные характеристики всех используемых источников сигнала приводят к этим условно принятым путем соответствующего усиления (для микрофона) или ослабления (для линии проводного вещания) уровня сигнала и формирования частотной характеристики, применяя для этого те или иные частотно-зависимые цепочки (*RC*, *LC*, *RL*).

Регуляторы тембра и переключатели регистров предназначены для плавного или скачкообразного изменения сквозной частотной характеристики тракта. Характеристики и параметры, заданные при конструировании, определяют схему и величины элементов регулятора.

К неизбежным вредным влияниям любых схем регулирования тембра относятся значительное снижение уровня сигнала после регулятора (иногда в 50—100 раз) и увеличение уровня шумов. Если второе влияние удается свести к минимуму рациональным монтажом и экранировкой, то первое приходится компенсировать только дополнительным усилением.

К необязательным, но довольно частым влияниям относится возникновение заметных нелинейных искажений после регуляторов, особенно на граничных частотах между соседними регуляторами. Объясняются они тем, что при чисто синусоидальном сигнале на входе регуляторов *RC* и *LC* цепочки схемы регулятора ведут себя только как частотно-зависимые делители напряжения, не искажающие формы сигнала.

Однако, если сигнал на входе схемы регулирования хотя бы ничтожно отличается от синусоидального (к. н. и порядка 0,2—0,5%), то цепочки *RC* и *LC* не только делят такие несинусоидальные сигналы, но и интегрируют или дифференцируют, еще больше искажая их форму.

В результате при больших уровнях сигнала на регуляторах тембра искажения на частотах раздела (например, на 1 000 *гц*) могут превысить 2—3%, что совершенно исключает принадлежность такого усилителя к системам Hi-Fi.

Из этих соображений регуляторы тембра стремятся включать как можно ближе к входу усилителя и только из-за опасения больших наводок их включают не непосредственно на входе, а после первого усилительного каскада, где уровень полезного сигнала превышает 1,0 *в*. Впрочем в ряде транзисторных схем и регуляторы тембра и регулятор громкости выполняют в виде единого блока, включаемого перед УНЧ.

Каскады усиления напряжения нужны только для того, чтобы скомпенсировать все потери уровня сигнала внутри отдельных звеньев тракта и довести его до величины, обеспечивающей нормальную работу оконечных каскадов. А поскольку каждый усилительный каскад неизбежно вносит в усиливаемый сигнал дополнительные искажения и наводки, всегда желательно сводить к минимуму количество каскадов.

К числу наиболее существенных вредных влияний усилительных каскадов относятся создаваемые лампой нелинейные искажения и фон переменного тока с частотой 50 *гц*, проникающий в усилительный тракт из цепи накала ламп. Подробнее о мерах борьбы с этими явлениями будет сказано в гл. 3.

Согласователи выходных и входных сопротивлений соседних звеньев тракта выполняются в виде катодных или эмиттерных повторителей или трансформаторов. Первые предпочтительнее из-за лучшей частотной характеристики и незначительной разницы напряжений сигнала в первичной и вторичной цепях, однако они могут только понижать сопротивления. Трансформаторы могут как понижать, так и повышать сопротивления, однако при этом значительно меняются и напряжения на его обмотках, что в некоторых случаях бывает нежелательно. Поэтому в усилительных трактах трансформаторы чаще всего используют в качестве выходных согласующих устройств между ламповыми оконечными каскадами и низкоомными громкоговорителями.

Катодные (эмиттерные) повторители чаще используют в схемах выносных органов управления или в качестве входных устройств, если есть опасность значительных и трудно устранимых наводок на вход усилителя или если недопустимо, чтобы транзисторный усилитель шунтировал своим небольшим входным сопротивлением источник низкочастотного сигнала.

Более подробный анализ тех звеньев тракта, место которых обычно однозначно определено (например, оконечный каскад), будет приведен далее.

4. ВИДЫ ИСКАЖЕНИЯ В HI-FI ТРАКТЕ

Смысл высокой верности воспроизведения по своей сути состоит в передаче сигнала от источника информации к его потребителю по возможности без каких бы то ни было искажений. Иными словами, слушатель в своей комнате в идеальном случае должен воспринимать звучание оркестра таким же, каким он воспринимал бы его непосредственно в концертном зале.

И вот именно в самой постановке этой задачи и кроется ответ на вопрос о сущности искажений. Дело в том, что если бы мы даже и сумели идеально воспроизвести акустический сигнал в среде «Б», слушатель сразу бы отличил этот сигнал от подлинного, потому что акустические свойства среды «Б» всегда будут иными, нежели свойства среды «А».

А это означает, что если мы все же хотим, чтобы субъективное восприятие слушателя в среде «Б» было таким же, как и в среде «А», необходимо, чтобы среда «Б» не вносила никаких изменений в воспроизводимый сигнал. Это возможно в двух случаях: либо среда «Б» является ничем не ограниченной, т. е. открытым пространством, либо преграды, ограничивающие среду «Б», идеально поглощают звук, т. е. не дают отражений. Для обеспечения высокой верности воспроизведения в реальных условиях совершенно необходимо сознательно и определенным образом изменять частотные характеристики звеньев тракта или, другими словами, сознательно вносить в тракт искажения.

Простейшим примером подтвердим сказанное. Пусть одно из звеньев тракта имеет частотную характеристику со спадом на высших частотах. Если в каком-либо другом звене ввести частотные искажения противоположного характера, то таким путем можно исправить сквозную частотную характеристику тракта.

Таким образом, далеко не всякие искажения следует считать искажениями в буквальном смысле слова. Поэтому, когда речь идет о Hi-Fi системах, полезно договориться о том, что считать искажениями. Мы, в частности, предлагаем следующие определения:

1) вредные изменения параметров электрического и акустического сигналов, приводящие к нарушениям подлинности звучания в конце тракта, называются и с к а ж е н и я м и;

2) полезные, искусственно создаваемые или получающиеся непроизвольно отклонения параметров сигнала внутри тракта от исходных, приводящие к получению субъективно идеального звучания у слушателя в конце тракта, называются к о р р е к т и с а м и (т. е. корректирующими искажениями).

Разумеется, как предложенные названия, так и сама идея разделения искажений на «вредные» и «полезные» являются своего рода вольностью автора, поэтому их надо рассматривать лишь как условно принятые исключительно в пределах данной книги и не претендующие на общее употребление. Если читателю не понравится слово «коррективы», он может заменить его на «полезные искажения» или любое другое по своему усмотрению, хотя, по мнению автора, выражение «полезные искажения» содержит в себе смысловое противоречие.

Таким образом, нелинейные искажения в тракте, приводящие к появлению в воспроизводимом сигнале гармоник и комбинационных частот, мы будем считать искажениями, а изменения частотной характеристики тракта схемой тонкомпенсации при регулировании громкости, приводящие к сохранению субъективно равной громкости звука на всех частотах, будем считать коррективами, а не искажениями.

Кроме того, предлагается ввести еще одно новое понятие, которое условно можно назвать з н а ч и м о с т ь и с к а ж е н и й. Дело в том, что далеко не все виды искажений одинаково существенны для достоверного воспроизведения звука, и, кроме того, одни и те же по абсолютной величине искажения оказывают на слух совсем не одинаковые воздействия в зависимости от содержания информации, ее спектра, абсолютного уровня сигнала, условий слушания и т. п.

Поэтому мы и предлагаем те или иные искажения оценивать не только по абсолютной величине, но и по их «значимости» в данных конкретных условиях.

После принятия всех этих условий и оговорок попробуем рассмотреть подробнее вопрос об искажениях в Hi-Fi тракте. Наиболее существенны нелинейные искажения и искажения сигнала паразитными компонентами, отсутствующими в исходном сигнале (фон, наводки, микрофонный эффект, шумы ламп и транзисторов, самовозбуждение усилителя на инфразвуковых и ультразвуковых частотах и т. п.), частотные искажения, искажения динамического диапазона.

Частотные искажения неизбежны практически в любом звене тракта. Наиболее типичны три типа частотных искажений:

1) спад высших частотных составляющих спектра ввиду шунтирующего действия паразитной емкости монтажа, распределенной межвитковой емкости трансформаторов, емкостей сетка-катод и анод-катод ламп и спад составляющих низких частот ввиду увеличения реактивного сопротивления переходных конденсаторов и уменьшения индуктивного сопротивления обмоток трансформаторов на низших частотах;

2) спады и подъемы частотной характеристики коэффициента передачи на высших и низших частотах ввиду отрицательной и положительной паразитных обратных связей по монтажу и цепям питания, а также подъемы и спады частотной характеристики в узких частотных областях из-за резонансных явлений;

3) резкое увеличение неравномерности сквозной частотной характеристики тракта из-за большого числа пиков и провалов на частотной характеристике громкоговорителей.

Искажения первого рода наиболее легко устранимы с помощью коррективов, создаваемых реактивными частотно-зависимыми делителями *RC* (реже *LC*), поскольку эти искажения монотонно возрастают от середины звукового диапазона к обоим его краям.

Правда, такое «исправление» характеристики всегда достигается ценой потери усиления на величину, равную приблизительно удвоенному (в *дб*) значению спада характеристики в наихудшей точке. На рис. 4 приведены типичные схемы ячеек и звеньев для

формирования корректис такого рода и соответствующие частотные характеристики.

Искажения второго рода легче предотвратить, чем устранить. Для этого прежде всего требуются продуманная конструкция усилителя и коммутирующих устройств, рациональный монтаж, тща-

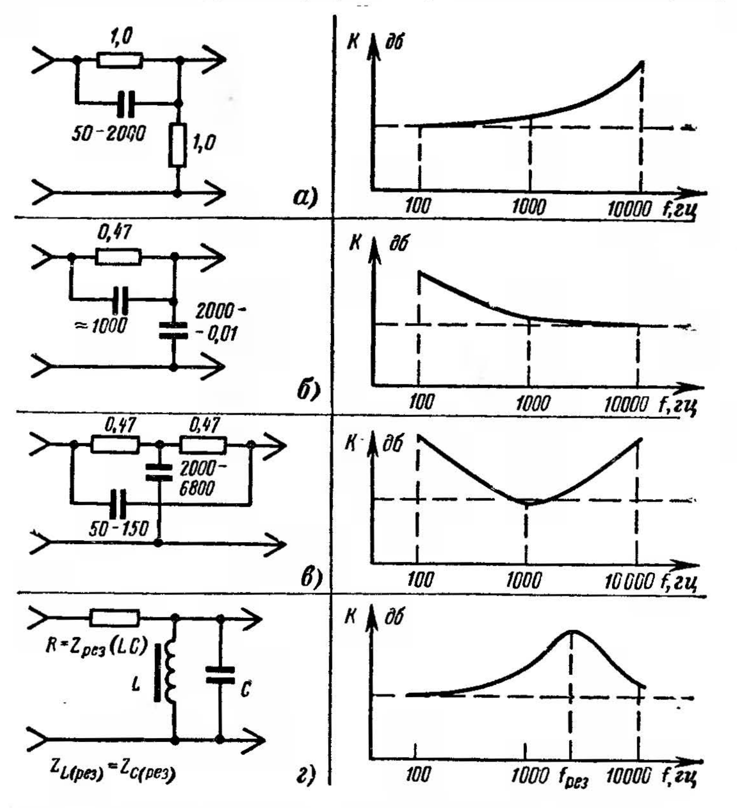


Рис. 4. Простейшие корректирующие цепочки.

а — для подъема коэффициента передачи на высших частотах; *б* — для подъема коэффициента передачи на низших частотах; *в* — для одновременного подъема коэффициента передачи на высших и низших частотах; *г* — для избирательного подъема частотной характеристики коэффициента передачи.

тельное экранирование узлов и деталей, между которыми возможны индуктивные и емкостные связи, устройство хороших фильтров в цепях питания.

Кроме того, не следует злоупотреблять в усилителе цепями обратной связи, особенно если при этом какой-либо каскад оказывается охвачен двумя или более самостоятельными цепями обратной связи.

Наконец, пики и провалы резонансного типа устраняются либо путем шунтирования резонасных систем, либо сдвигом частоты резонанса в ту или другую сторону. В последнем случае резонансные пики на характеристике используются как корректисы для компенсации провалов характеристики в другом месте путем соответствующей перестройки резонансной системы.

Возникновение в усилителе положительной обратной связи приводит в отдельных случаях к самовозбуждению усилителя на инфразвуковых, звуковых или ультразвуковых частотах.

Неравномерность сквозной частотной характеристики тракта, вызываемую «многопиковым» характером излучения громкоговорителей, к сожалению, нельзя устранить полностью никакими способами, в том числе и корректисами, однако общая неравномерность характеристики акустической системы уменьшается с увеличением количества громкоговорителей в системе.

Частотные искажения наиболее заметны при прослушивании звучаний с широким спектром (симфонические и большие эстрадные оркестры, джазовые ансамбли), меньше — при речевых передачах, сольном мужском пении под гитару, при воспроизведении электромузыки, не имитирующей какие-либо музыкальные инструменты.

Нелинейные искажения практически всегда ухудшают качество звучания, и к тому же музыкально тренированное ухо в состоянии фиксировать нелинейные искажения при к. н. и порядка 2—3%, а на чистом тоне — и того меньше. Поэтому даже для аппаратуры стандартного Hi-Fi класса к.н.и. должен быть ограничен величиной порядка 2%.

Нелинейные искажения возникают в основном в следующих звеньях тракта (в порядке убывания их значимости): громкоговорители, мощные оконечные каскады УНЧ, фазоинверторы и предоконечные или предмощные каскады (драйверы).

Каскады предварительного усиления и трансформаторы (в том числе и выходные) при грамотном конструировании и тщательном выполнении создают незначительные нелинейные искажения.

Возникшие нелинейные искажения практически уже неустранимы, поэтому ни в коем случае не следует допускать их возникновения. Для снижения нелинейных искажений применяют неполное использование оконечного каскада по мощности и отрицательную обратную связь, однако мы рекомендуем радиолюбителям во всех случаях, независимо от других способов и параллельно с ними, метод окончательной электрической регулировки тракта в целом по минимуму нелинейных искажений на его выходе.

Сущность метода состоит в том, что полностью собранный и отрегулированный по всем параметрам тракт включают на воспроизведение чистого тона от звукового генератора, имеющего коэффициент нелинейных искажений на один порядок ниже предусмотренного для данного тракта, устанавливают уровень сигнала, при котором выходная мощность несколько больше номинальной, например 1,2 $P_{ном}$, и измеряют коэффициент нелинейных искажений на выходе тракта. Далее, не выключая усилителя, заменяют поочередно резисторы автоматического смещения, анодных и коллекторных нагрузок, питания экранирующих сеток, базовых делителей регулировочными переменными резисторами и, изменяя их сопротивление на ±5—15% от первоначального, наблюдают за показаниями измерителя нелинейных искажений, поддерживая неизменной выходную мощность.

Если изменение сопротивления регулировочного переменного резистора приводит к уменьшению искажений, нужно найти положение его движка, которое соответствует минимальным искажениям. После этого надо измерить получившееся сопротивление и заменить переменный резистор постоянным. Заменяя поочередно перечисленные резисторы переменными и подбирая их оптимальные сопротивления, в динамическом режиме добиваются минимально возможных нелинейных искажений тракта в целом.

Если при указанной выходной мощности нелинейные искажения окажутся в начале или в конце регулировки исчезающе малыми, нужно увеличить выходную мощность (т. е. увеличить напряжение сигнала на входе усилителя) до полученных заметных по прибору искажений. Более подробно этот вопрос будет рассмотрен в гл. 3.

Нелинейные искажения громкоговорителей нельзя снизить никакой регулировкой, поэтому для Hi-Fi трактов громкоговорители необходимо подбирать индивидуально и не использовать их на полную мощность. Как это делается, мы расскажем в разделе «Акустические системы».

Искажения динамического диапазона существуют во всех системах передачи звука (исключение составляют системы звукоусиления крупных залов, например зала Дворца съездов в Москве, зала «Октябрьский» в Ленинграде).

По ряду причин (прежде всего экономических) естественный динамический диапазон, достигающий 60—70 *дб*, при радиовещании или звукозаписи сужают до 35—40 *дб* (отношение напряжений 56—100 раз).

Искажения этого рода таковы, что если в системе полностью отсутствуют иные искажения, то слушатель затрудняется ответить, чем воспроизводимый звук отличается от естественного, хотя всегда обнаружит такое отличие. Чаще всего говорят, что воспроизводимый звук представляет собой «типичный радиозвук».

Наряду с рассмотренным искажением передачи громкости звукового сигнала, характеризуемым как сжатие динамического диапазона, существует иное искажение. В силу недостаточной звукоизоляции наших квартир мы в домашних условиях не можем воспроизводить музыкальные записи с громкостью, соответствующей естественной громкости их исполнения в студии, концертном зале или зале оперного театра. В домашних условиях мы воспроизводим музыкальные записи с заниженной против естественной громкостью. Происходит так называемое с м е щ е н и е   у р о в н е й вниз. Вследствие особенностей нашего слуха это приводит к относительной потере «низов» и «верхов», т. е. к частотным искажениям. Поэтому при воспроизведении с пониженной громкостью необходимо поднимать частотную характеристику коэффициента передачи тракта на низших и высших частотах и тем больше, чем тише воспроизводится звук.

В начале книги было оговорено, что название Hi-Fi предполагает высокую верность воспроизведения звука, т. е., иными словами, звук, воспроизводимый в среде «Б», в идеальном случае ничем не должен отличаться для слушателя от звука в среде «А» (в студии, концертном зале).

Для этого прежде всего необходимо, чтобы в тракте отсутствовали искажения динамического диапазона. Если отбросить передающую сторону тракта (а именно так мы договорились в самом начале книги), то оказывается, что уже сейчас возможно создавать

звуковоспроизводящие системы с динамическим диапазоном порядка 60—70 *дб*, что позволяет точно воспроизводить соотношения громкостей тех музыкальных программ, естественный динамический диапазон которых не превосходит соответственно 50—60 *дб*.

К сожалению, на сегодня подавляющее большинство самих источников сигнала, которыми может воспользоваться радиолюбитель, имеет ограниченный динамический диапазон (порядка 40—50 *дб*), поэтому для воссоздания естественного звучания приходится прибегать к расширению динамического диапазона.

Введение в тракт таких корректис хотя и искажает информацию, заложенную в источнике сигнала, но зато приближает воспроизводимый звук к естественному, т. е. учитывает и компенсирует те искажения динамического диапазона, которые возникли в процессе записи натурального сигнала на носитель в силу несовершенства записывающей аппаратуры.

Значимость искажений динамического диапазона в воспроизводящем тракте тем выше, чем больше динамический диапазон звучания подлинного источника — оркестра, хора и т. п.

Расширение динамического диапазона требует уменьшения уровня фона и шумов усилителя и создания значительного запаса по мощности.

В этом свете становится понятным стремление ведущих зарубежных фирм выпускать бытовые Hi-Fi стереоустановки с УНЧ, имеющими выходную мощность 2×30, 2×60 и даже 2×120 *вт*. По этой же причине в Hi-Fi усилителях (и особенно в экстра-усилителях) приходится идти на значительные усложнения схемы, чтобы снизить уровень фона и собственных шумов усилителя до величины — 70÷—80 *дб* (по отношению к максимальному уровню сигнала).

5. МЕТОДЫ ОБЪЕКТИВНОЙ И СУБЪЕКТИВНОЙ ОЦЕНОК ПАРАМЕТРОВ Hi-Fi ТРАКТА В ЛАБОРАТОРНЫХ И ЛЮБИТЕЛЬСКИХ УСЛОВИЯХ

Существуют два разных метода оценки качества звуковоспроизводящей аппаратуры. Первый из них — объективный — заключается в строгом численном определении всех отдельных параметров и характеристик аппарата. В отношении УНЧ, например, это означает снятие частотных и амплитудных характеристик, измерение чувствительности, уровня фона и шумов, выходной мощности и т. д.

По этим строгим цифровым данным легко отнести усилитель к тому или иному классу, можно сравнивать его с другими усилителями, но нельзя ответить на один и в то же время самый важный вопрос: как будет звучать звуковоспроизводящая установка с этим усилителем и в данном помещении.

Дело здесь совсем не в том, что качество звучания зависит не только от усилителя, но и от громкоговорящего агрегата, и от помещения для прослушивания, и от целого ряда других факторов. Безусловно, каждый из этих факторов является в одинаковой степени определяющим качество звучания, и большинство этих факторов можно точно учесть, измерить, сравнить, т. е. оценить объективно.

И тем не менее даже два совершенно одинаковых по параметрам и характеристикам устройства всегда отличаются друг от друга характером звучания, не говоря уже о разных конструкциях устройств одного и того же класса.

Для звуковоспроизводящей аппаратуры высшего класса дело обстоит точно таким же образом, что и для музыкальных инструментов — в каждой из них всегда заключена своя неповторимая особенность, которую нельзя практически не только измерить или оценить, но даже в большинстве случаев невозможно точно определить.

Именно поэтому при сравнении или определении класса качества тех или иных систем звуковоспроизведения наряду с объективной оценкой обязательно проводят также испытания систем непосредственно на качество звучания, т. е. оценивают систему субъективно по тому впечатлению, которое система производит на слушателя.

На первый взгляд может показаться, что такая оценка всегда будет неточной, необъективной, поскольку каждый слушатель воспринимает одно и то же звучание по-разному. И тем не менее существуют математически строгие методы, например статистические, позволяющие сделать субъективную оценку строгой и однозначной. Мы подробнее рассмотрим эти методы несколько позже, но сначала вернемся к методам объективной оценки.

Для объективной оценки тракта необходимо расчленить его на отдельные звенья, каждое из которых подвергается точным измерениям с помощью соответствующей аппаратуры. Результаты измерений обязательно фиксируют в виде протоколов, таблиц и графиков, а затем сравнивают с величинами, предписанными стандартами, техническими условиями или нормами.

Это позволяет либо определить, к какому классу можно отнести данный аппарат или узел, либо выяснить, какие из характеристик аппарата следует изменить и в какую сторону, чтобы после этого аппарат можно было отнести к некоторому конкретному классу.

Многим может показаться, что такая скрупулезность и формальность ни к чему, когда речь идет о радиолюбительской аппаратуре: чего удалось достичь, то и хорошо. Однако такой подход совершенно исключает разговор об аппаратуре высококачественного звуковоспроизведения. Hi-Fi аппаратуру нельзя получить только повторением, даже самым безукоризненным, какого-нибудь описания. Параметры любого узла Hi-Fi тракта и всего тракта в целом обязательно должны быть индивидуально «доведены» до некоторых, твердо установленных значений, причем такое доведение должно быть жестким и неукоснительным, без каких-либо скидок на «радиолюбительство». Только в этом кроется залог успешного создания Hi-Fi системы.

Настоящий параграф посвящен только методам оценок параметров тракта, поэтому здесь нет возможности остановиться на способах доведения тех или иных параметров тракта до требуемых значений. По мере возможности эти вопросы будут рассмотрены в последующих главах.

Итак, метод объективной оценки. По существу это не что иное, как совокупность электрических и акустических измерений. Здесь нужно прежде всего выделить те звенья тракта, в которых совершенно необходимо произвести измерения. К таким звеньям относятся датчик-преобразователь сигнала на входе тракта, УНЧ со всеми входящими в него системами и звеньями тракта, и, наконец, акустический преобразователь на выходе тракта.

Датчик-преобразователь сигнала в радиолюбительской практике звуковоспроизведения может представлять собой либо микрофон, либо граммофонный звукосниматель, либо магнитофонную головку, а в более редких случаях — адаптер какого-нибудь музыкального инструмента.

Микрофон в радиолюбительской практике по существу почти никогда не используется для записей в системе Hi-Fi. Это объясняется тем, что для получения музыкальной записи совершенно необходимо, чтобы среда «А» представляла собой хорошо оборудованную студию. Редчайшее исключение составляет случай, когда нужно с высокой верностью записать и сохранить чей-нибудь голос или музыкальное исполнение на одиночном инструменте.

Во всех этих случаях необходимо применить радиовещательный микрофон, а единственным объективным фактором его качества является заводской паспорт и частотная характеристика. Проверить соответствие фактических характеристик микрофона паспортным в любительских условиях нет никакой возможности, да и в лаборатории такая проверка требует сложной и громоздкой аппаратуры и специально оборудованного помещения.

Снять характеристики звукоснимателя в любительских условиях возможно, однако для этого совершенно необходимо иметь испытательные пластинки, рассчитанные на соответствующую скорость вращения, по возможности новые.

Без испытательной пластинки измерения, к сожалению, невозможны. Техника измерений довольно проста. К выходу звукоснимателя подключают милливольтметр с высокоомным входом без дополнительных звеньев, кроме эквивалента нагрузки, соответствующего входному сопротивлению усилителя тракта.

Установив звукосниматель на пластинку, определяют и записывают выходные напряжения, соответствующие разным частотам. Позже по полученным значениям строят график частотной характеристики звукоснимателя.

Далее к звукоснимателю подключают измеритель нелинейных искажений и таким же образом определяют величины коэффициента нелинейных искажений звукоснимателя на разных частотах. Чувствительность звукоснимателя оценивается величиной выходного напряжения на частоте 1 000 *гц* при заданной амплитуде записи

Магнитофонную воспроизводящую головку проверяют с помощью измерительных лент. Существуют ленты для измерения усиления и частотной характеристики воспроизводящего тракта магнитофона, измерения сквозных характеристик магнитофона, проверки положения рабочих зазоров головок, измерения коэффициента неравномерности движения ленты. Для каждого номинала скорости воспроизведения существуют свои измерительные ленты, причем точные, истинные характеристики головки можно получить лишь в том случае, если фактическая скорость протяжения измерительной ленты относительно испытуемой головки точно соответствует номиналу скорости.

Техника измерения может быть такой же, как и в случае звукоснимателя, однако лишь в тех случаях, когда минимальный выходной сигнал головки превышает 0,1 *мв*. В противном случае для измерений потребуется специальный, согласованный по входу и по выходу усилитель с горизонтальной частотной характеристикой в пределах рабочей полосы частот головки. Его можно собрать на одном ламповом триоде или транзисторе. Перед измерением головки должна быть снята частотная характеристика этого усилителя. Характеристика головки будет разностью частотных характеристик головки

вместе с усилителем и одного усилителя. Во всех случаях при измерениях с головкой необходимо обеспечить тщательное экранирование всех переходов.

Объективная оценка акустической системы сводится к измерению ее полного входного электрического сопротивления на частоте 1 000 *гц*, определению частоты собственного механического резонанса, наличия призвуков и дребезжаний во всем рабочем диапазоне частот, проверке синфазности всех громкоговорителей системы. Эти, хотя и неполные, измерения могут и должны быть произведены даже в любительских условиях.

Остальные объективные измерения — снятие частотной характеристики и коэффициента нелинейных искажений по звуковому давлению, оценка к. п. д. системы и определение номинального звукового давления — могут быть произведены только в специально оборудованных лабораториях. Подробнее о технике измерений будет рассказано в гл. 4.

Объективные измерения УНЧ наиболее хорошо знакомы радиолюбителям. Обязательными для Hi-Fi усилителей любого класса являются следующие измерения:

1) снятие частотных характеристик усилителя в целом при четырех разных положениях регуляторов тембра и громкости (широкая и узкая полосы при максимальном положении регулятора громкости и широкая и узкая полоса при минимально возможном положении регулятора громкости);

2) определение нестабильности усиления на частоте 1 000 *гц* при вращении регуляторов тембра из одного крайнего положения в другое и при переключении фиксированных регуляторов тембра;

3) определение комплексного выходного сопротивления усилителя и фактора демпфирования для данной конкретной нагрузки;

4) измерение чувствительности на частоте 1 000 гц для всех входов и режимов использования;

5) измерение коэффициента нелинейных искажений при номинальной и максимальной выходной мощностях на реальной нагрузке на частотах 40, 60, 80, 120, 200, 400, 1 000 *гц*, 2, 4, 6 и 10 *кгц*;

6) измерение уровня собственных шумов и фона усилителя;

7) определение динамического диапазона усилителя;

8) определение глубины регулировки каждого из регуляторов тембра.

Для стереофонических усилителей производят ряд дополнительных измерений, из которых важнейшими являются определение величины переходного затухания между каналами, степени перекрестной модуляции, глубины регулировки стереобаланса, а также степени идентичности одноименных характеристик разных каналов.

Для субъективной оценки тракта звуковоспроизведения производят одиночные и коллективные прослушивания испытуемой установки, при этом программа произведений для прослушивания подбирается особо с учетом их динамического диапазона, частотных границ, оркестрового состава и ряда других факторов.

Прослушивание промышленной аппаратуры обычно производят в помещении с определенными акустическими свойствами. В радиолюбительских условиях правильнее производить прослушивание в том помещении, для которого аппаратура предназначается. В этом случае при субъективной оценке будут выявлены все акустические особенности помещения и то, как эти особенности были учтены при конструировании и налаживании системы.

Методик субъективной оценки звуковоспроизводящей аппаратуры существует немало. Суть их сводится к тому, что несколько слушателей (чем больше — тем точнее оценка) в совершенно одинаковых условиях слушают одну и ту же программу и оценивают качество звучания по какой-нибудь, например пятибалльной, цифровой системе.

При этом каждый слушатель должен оценить не просто общее впечатление от системы, а целый ряд конкретных параметров. К таким параметрам в первую очередь относятся наличие пространственного впечатления (т. е. впечатления звуковой перспективы), прозрачности звучания (возможности различить звучание отдельных инструментов в общем ансамбле), музыкального равновесия (оценка соответствия громкости отдельных инструментов, групп инструментов или голосов солистов и хора), правильного воспроизведения тембра отдельных инструментов и певческих голосов, наличие или отсутствие мешающих звуков (шума и фона аппаратуры, хрипов, треска и др.).

Для того чтобы такая оценка в то же время была достаточно объективной и единообразной, полезно каждому слушателю предложить заполнить особую табличку, один из возможных вариантов которой приведен ниже.

Субъективная оценка не является самоцелью, а нужна для выявления наиболее «слабых» мест тракта. Если, например, при прослушивании все или большинство слушателей отметили наличие «бубнения» на низких частотах, значит после субъективных измерений следует снова произвести необходимые объективные измерения, которые позволяют выявить причины названного дефекта.

В нашем примере такими дополнительными объективными измерениями должны быть точное определение резонансной частоты, величины подъема частотной характеристики и ширины участка с подъемом в области собственного резонанса акустической системы в целом, величина фактора демпфирования, проверка отсутствия пиков в электрической частотной характеристике УНЧ на частотах, соответствующих механическим резонансам акустической системы.

После выявления и устранения всех дефектов, отмеченных при субъективных испытаниях, полезно повторить прослушивание.

Субъективные испытания могут дать нужные результаты только в том случае, когда все слушатели достаточно хорошо разбираются в вопросах качества звучания, а музыкальная программа для прослушивания подобрана правильно. Это означает, что в программе для прослушивания должны быть произведения разных жанров, содержащие самые разнообразные сочетания музыкальных инструментов, а также сольные вокальные (мужские и женские) исполнения.

Кроме того, необходимо, чтобы источник сигнала и датчик-преобразователь на входе тракта были, по крайней мере, того же класса, что и испытуемый тракт.

В программе испытания стереофонических устройств должны быть дополнительные элементы, позволяющие выявить эти особенности испытуемого тракта (например, эффект перемещения источника звука или определенность положения различных инструментов в пространстве). Нужно подчеркнуть, что поскольку здесь речь идет о Hi-Fi аппаратуре, субъективные испытания тракта даже в любительских условиях нужно рассматривать как необходимое звено в комплексной оценке тракта.

Таблица 3

Оцениваемый параметр	Оценочный балл или показатель	Испытуемая установка	Контрольная (эталонная) установка
Максимальная выходная мощность	Вполне достаточна — 1. Достаточна на пределе — 2. Недостаточна — 3		
Нижняя граница полосы пропускания	То же		
Верхняя граница полосы пропускания	То же		
Наличие нелинейных искажений на низших частотах	Совершенно незаметны — 1. Едва заметны — 2. Уверенно заметны — 3. Искажают передачу — 4		
Наличие нелинейных искажений на высших частотах	То же		
Наличие панорамы (ширины звуковой картины)	Уверенно ощущается — 1. Едва намечается — 2. Полностью отсутствует — 3		
Наличие глубины (объемности) звуковой картины	То же		
Качество звучания составляющих низших частот	Естественные «басы» — 1. Слишком мягкие или слишком жесткие «басы» — 2. Гулкий, «бочкообразный» звук — 3		
Качество звучания составляющих высших частот	Чистый, «прозрачный» звук без шипения — 1. Недостаточная «прозрачность» звука — 2. Качество звука удовлетворительное — 3		

Продолжение табл. 3

Оцениваемый параметр	Оценочный балл или показатель	Испытуемая установка	Контрольная (эталонная) установка
Наличие посторонних призвуков	Полностью отсутствуют — 1. Фон 50 *гц* — 2. Фон 100 *гц* — 3. Микрофонный эффект — 4. «Шипение» — 5		
Оценка равномерности и направленности звука	Равномерное звучание в любой точке помещения — 1. Оптимальное звучание в некоторой зоне — 2. Звук остро направлен — 3. Оптимальное звучание в одной точке помещения — 4		
Ощущение стереоэффекта (для стереофонических систем)	Явно ощущается — 1. Едва заметен — 2. Имеется «провал» между двумя источниками звука — 3. Полностью отсутствует — 5		
Регулировка стереобаланса (для стереофонических систем)	Имеется с запасом — 1. Достаточна без запаса — 2. Недостаточна — 3		
Общая субъективная оценка качества звучания сравниваемых систем	По пятибалльной системе (высшая оценка — 1, низшая — 5)		

В заключение этого раздела необходимо остановиться на измерительной аппаратуре, используемой для объективных испытаний. Дело в том, что привычная и широко распространенная среди радиолюбителей промышленная и самодельная измерительная низкочастотная аппаратура в большинстве случаев непригодна для измерений в тракте даже «стандартного Hi-Fi класса», не говоря уже об аппаратах «экстра-класса».

Такие общеизвестные приборы, как милливольтметр ЛВ-9 (МВЛ-2) или звуковой генератор ЗГ-10, которыми оснащены большинство радиоклубов, нельзя использовать при регулировке Hi-Fi усилителей, поскольку первый из них имеет полосу частот всего от

50 *гц* до 10 *кгц*, а второй имеет коэффициент нелинейных искажений порядка 0,7%.

Ясно, что с такой аппаратурой нельзя регулировать УНЧ, рабочая полоса которого равна 20—20 000 *гц*, а к.н.и. не превышает 1%. Поэтому надо всегда осторожно относиться к различным журнальным описаниям усилителей с полосой свыше 30 *кгц* и к. н. и. менее 1%, поскольку далеко не все авторы таких описаний располагают возможностью достоверно измерить эти величины.

Из этого вовсе не следует, что такие усилители нельзя создать. В последней главе этой книги приведены описания Hi-Fi усилителей, сконструированных автором и имеющих полосу частот от 5—10 *гц* до 150—200 *кгц* и к.н.и. менее 0,5%. Эти результаты получены и проверены многократным повторением отдельных конструкций и действительно достоверны.

Речь идет об аппаратуре, с помощью которой такие измерения следует производить. Наша отечественная промышленность выпускает сейчас практически полный комплект измерительной аппаратуры, необходимой для низкочастотных измерений.

Обращаем внимание радиолюбителей на то, что далеко не все из них являются универсальными. Так, например, звуковые генераторы типов ГЗ-47 и ГЗ-39 имеют нижнюю границу генерируемых частот 0,01 *гц*, т. е. позволяют снимать нижнюю часть частотных характеристик любого звена Hi-Fi тракта даже экстра-класса, однако их верхняя граница составляет 20 и 11 *кгц* соответственно.

Генераторы ГЗ-44, ГЗ-35 и ГЗ-51, наоборот, имеют верхнюю границу порядка 100—200 *кгц*, однако нижняя граница составляет 10 *гц* для первого из них и 20 *гц* — для второго и третьего.

Но это еще не все. Если для снятия частотных или амплитудных характеристик годится комплект из двух разных генераторов, то для измерения нелинейных искажений могут быть использованы только ГЗ-35 и ГЗ-51, у которых собственный к.н.и. не превышает 0,05% для первого и 0,3% для второго. Все остальные генераторы, включая перечисленные выше новейшие широкополосные, для этого вида измерений непригодны, так как имеют собственный к.н.и. порядка 2%.

Таким образом, прежде чем начинать любые измерения в Hi-Fi тракте, нужно подобрать и найти всю необходимую измерительную аппаратуру. Мы рекомендуем радиолюбителям следующие приборы:

1) вольтметр типа ВЗ-6. Позволяет измерять переменные синусоидальные напряжения в пределах от 0,15 *мв* до 200 *в*. Частотный диапазон измеряемых напряжений от 5 *гц* до 1,0 *Мгц*;

2) анализаторы гармоник типов С5-3 и С5-3А. Предел измерений по частоте исследуемого сигнала от 10 *гц* до 20 *кгц*;

3) измеритель нелинейных искажений типа С6-1А. Частотный диапазон измеряемых напряжений от 20 *гц* до 20 *кгц*. Пределы измерения к.н.и. от 0,1 до 100%, к.н.и. собственного генератора НЧ не превышает 0,1%, а встроенный вольтметр имеет диапазон измеряемых напряжений от 1 *мв* до 100 *в*, что позволяет использовать этот прибор как универсальный комплект (генератор НЧ, вольтметр и измеритель коэффициента нелинейных искажений);

4) низкочастотный генератор качающейся частоты типа Х1-22 позволяет непосредственно видеть на экране частотную характеристику измеряемого аппарата. Прибор совершенно незаменим при снятии серий частотных характеристик, как, например, семейства кривых тонкомпенсированного регулятора громкости, регуляторов тембра, кланг-регистров и т. п. Частотный диапазон прибора от 20 *гц* до 20 *кгц*;

5) звуковой генератор типа ГЗ-39. Частотный диапазон от 0,01 *гц* до 11 *кгц*, к.н.и.=2%, выходное напряжение регулируется в пределах от 9 *мв* до 10 *в*;

6) звуковой генератор типа ГЗ-47. Частотный диапазон от 0,01 *гц* до 20 *кгц*, к.н.и.=2%, выходная мощность 0,63 *вт* на нагрузке 600 *ом*;

7) звуковой генератор типа ГЗ-51 (в основном для измерения к.н.и. испытуемого усилителя). Частотный диапазон от 20 *гц* до 200 *кгц*, собственный к.н.и. 0,05—0,3% в зависимости от частоты;

8) звуковой генератор ГЗ-35 (так же для измерений к.н.и.). Частотный диапазон от 20 *гц* до 200 *кгц*, собственный к.н.и. в пределах 0,02—0,05%;

9) звуковой генератор типа ГЗ-44. Частотный диапазон от 10 *гц* до 100 *кгц* с дискретной регулировкой через 1 *гц*, к.н.и.=2%.

Глава вторая

ИСТОЧНИКИ И НОСИТЕЛИ НИЗКОЧАСТОТНОГО СИГНАЛА СИСТЕМ Hi-Fi

6. МИКРОФОНЫ

При обычной любительской звукозаписи микрофон как преобразователь звукового сигнала применяют довольно часто (запись домашних праздников и торжеств, обучение, озвучение любительских кинофильмов и т. п.). В отличие от этого в Hi-Fi системе любительская запись с микрофона — большая редкость. Объясняется это следующими причинами:

1) для высококачественной записи необходимо иметь высококачественный микрофон, являющийся дорогим и редко встречающимся в продаже прибором;

2) действительно высококачественную запись с микрофона можно осуществить только в специально оборудованном помещении (студии);

3) записывать с микрофона на Hi-Fi аппаратуру целесообразно только произведения в исполнении больших ансамблей (симфонический или большой эстрадный оркестр, хор), звучание которых имеет значительный частотный и динамический диапазоны. Что же касается голосов чтеца или певца — солиста, то их частотный и динамический диапазоны ограничены, поэтому их вполне удовлетворительно можно записать на обычном бытовом магнитофоне с помощью недорогого микрофона (например, МД-47 и ему подобного).

В силу сказанного в радиолюбительской практике высококачественная звукозапись с микрофона ограничивается записью стереофонических эффектов, а также некоторыми сугубо специфическими случаями, когда желают, например, записать голоса птиц, диких животных или звучание редкого народного музыкального инструмента.

К микрофонам, предназначенным для высококачественной звукозаписи, предъявляются исключительно высокие требования, так как здесь не делается скидок на сложность или дороговизну отдельных звеньев тракта: параметры каждого звена Hi-Fi тракта должны быть значительно лучше параметров тракта в целом.

А это означает, например, что даже для «стандартного Hi-Fi класса» полоса воспринимаемых микрофоном частот должна быть не уже 40—20 000 *гц* при неравномерности частотной характеристики чувствительности не более нескольких децибел, а динамический диапазон не менее 50 *дб*. Опытные радиолюбители хорошо понимают, что значат эти цифры.

Впрочем, микрофоны с такими параметрами выпускаются промышленностью у нас в стране и за рубежом. Из отечественных профессиональных микрофонов к ним можно отнести МК-5А, МК-3, 19А-9 и некоторые другие

Таблица 4

Тип микрофона	Вид конструкции	Диапазон частот, *гц*	Неравномерность частотной характеристики, *дб*	Уровень осевой чувствительности, *дб*	Характеристика направленности
МД-38	Динамический	50—15 000	8	—78	НН
МД-45	То же	50—15 000	12	—78	ОН
МД-57	»	50—13 000	10	—78	НН
МЛ-16	Ленточный	50—15 000	10	—78	ДН
МК-3	Конденсаторный	40—15 000	6	—66	ОН
МК-5А	То же	20—20 000	4	—73	НН
19А-3	»	40—12 000	5	—55	ОН
19А-9	»	40—15 000	10	—66	ОН

Примечание. НН — ненаправленный (круг), ОН — однонаправленный (кардиоида), ДН — двунаправленный («восьмерка»).

В табл. 4 приведены данные некоторых микрофонов, которые можно рекомендовать для любительской Hi-Fi звукозаписи.

Многим радиолюбителям будет интересно узнать, каким образом удается создавать микрофоны с такими высококачественными показателями. Для этого есть несколько путей.

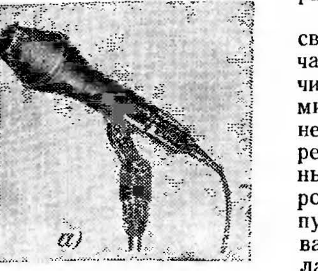
У электродинамических ленточных микрофонов подвижную систему выполняют в виде «гармошки» из тонкой алюминиевой фольги.

Для расширения частотного диапазона в электродинамических микрофонах с подвижной катушкой стремятся предельно облегчить подвижную систему. Диафрагму (мембрану) изготовляют из тончайшей и очень легкой полистирольной пленки, а катушку наматывают алюминиевым проводом диаметром 0,01—0,02 *мм*.

Для выравнивания частотной характеристики микрофона и уменьшения ее неравномерности нередко внутри кожуха микрофона монтируют электрические корректирующие цепочки и корректирующие фильтры или создают акустические корректоры. В последнее время получают распространение комбинированные микрофоны, состоящие по существу из нескольких микрофонов, каждый из которых воспринимает звуковые давления в своем участке частот.

В качестве примера на рис. 5 и 6 приведены общий вид, конструкция и электрическая схема австрийского микрофона типа Д-202 и его частотная характеристика и характеристика направленности.

Очень важно помнить, что в силу своих конструктивных особенностей (тончайшие пленки, микроскопические рабочие зазоры и др.) высококачественные микрофоны являются очень хрупкими и нежными приборами, требующими бережного обращения с ними. Микрофоны нужно тщательно оберегать от ударов и сотрясений. Совершенно недопустимо дуть в микрофон или пощелкивать по нему пальцем, как это часто делают многие радиолюбители при проверке тракта. Ленточные микрофоны необходимо оберегать от потока воздуха (ветра, «сквозняка»). Ими недопустимо пользоваться на открытом воздухе. Располагать микрофоны при записи нужно не



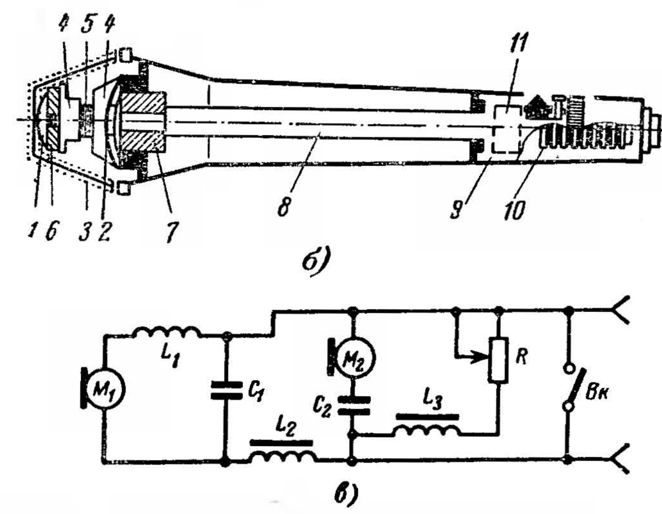


Рис. 5. Широкополосный двухголовочный электродинамический катушечный микрофон типа D-202.

а — внешний вид; *б* — устройство микрофона (*1* — высокочастотная мембрана; *2* — низкочастотная мембрана; *3* — защитная металлическая сетка; *4* — держатель системы; *5* — компенсационная катушка; *6* — высокочастотная головка; *7* — низкочастотная головка; *8* — звуковая трубка — волновод; *9* — демпфирующая камера; *10* — выходные воздушные отверстия; *11* — *LC*-фильтр); *в* — электрическая схема микрофона.

К микрофонам, предназначенным для высококачественной звукозаписи, предъявляются исключительно высокие требования, так как здесь не делается скидок на сложность или дороговизну отдельных звеньев тракта: параметры каждого звена Hi-Fi тракта должны быть значительно лучше параметров тракта в целом.

А это означает, например, что даже для «стандартного Hi-Fi класса» полоса воспринимаемых микрофоном частот должна быть не уже 40—20 000 *гц* при неравномерности частотной характеристики чувствительности не более нескольких децибел, а динамический диапазон не менее 50 *дб*. Опытные радиолюбители хорошо понимают, что значат эти цифры.

Впрочем, микрофоны с такими параметрами выпускаются промышленностью у нас в стране и за рубежом. Из отечественных профессиональных микрофонов к ним можно отнести МК-5А, МК-3, 19А-9 и некоторые другие

Таблица 4

Тип микрофона	Вид конструкции	Диапазон частот, *гц*	Неравномерность частотной характеристики, *дб*	Уровень осевой чувствительности, *дб*	Характеристика направленности
МД-38	Динамический	50—15 000	8	—78	НН
МД-45	То же	50—15 000	12	—78	ОН
МД-57	»	50—13 000	10	—78	НН
МЛ-16	Ленточный	50—15 000	10	—78	ДН
МК-3	Конденсаторный	40—15 000	6	—66	ОН
МК-5А	То же	20—20 000	4	—73	НН
19А-3	»	40—12 000	5	—55	ОН
19А-9	»	40—15 000	10	—66	ОН

Примечание. НН — ненаправленный (круг), ОН — однонаправленный (кардиоида), ДН — двунаправленный («восьмерка»).

В табл. 4 приведены данные некоторых микрофонов, которые можно рекомендовать для любительской Hi-Fi звукозаписи.

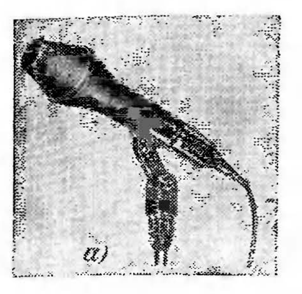
Многим радиолюбителям будет интересно узнать, каким образом удается создавать микрофоны с такими высококачественными показателями. Для этого есть несколько путей.

У электродинамических ленточных микрофонов подвижную систему выполняют в виде «гармошки» из тонкой алюминиевой фольги.

Для расширения частотного диапазона в электродинамических микрофонах с подвижной катушкой стремятся предельно облегчить подвижную систему. Диафрагму (мембрану) изготовляют из тончайшей и очень легкой полистирольной пленки, а катушку наматывают алюминиевым проводом диаметром 0,01—0,02 *мм*.

Для выравнивания частотной характеристики микрофона и уменьшения ее неравномерности нередко внутри кожуха микрофона монтируют электрические корректирующие цепочки и корректирующие фильтры или создают акустические корректоры. В последнее время получают распространение комбинированные микрофоны, состоящие по существу из нескольких микрофонов, каждый из которых воспринимает звуковые давления в своем участке частот.

В качестве примера на рис. 5 и 6 приведены общий вид, конструкция и электрическая схема австрийского микрофона типа Д-202 и его частотная характеристика и характеристика направленности.



Очень важно помнить, что в силу своих конструктивных особенностей (тончайшие пленки, микроскопические рабочие зазоры и др.) высококачественные микрофоны являются очень хрупкими и нежными приборами, требующими бережного обращения с ними. Микрофоны нужно тщательно оберегать от ударов и сотрясений. Совершенно недопустимо дуть в микрофон или пощелкивать по нему пальцем, как это часто делают многие радиолюбители при про-

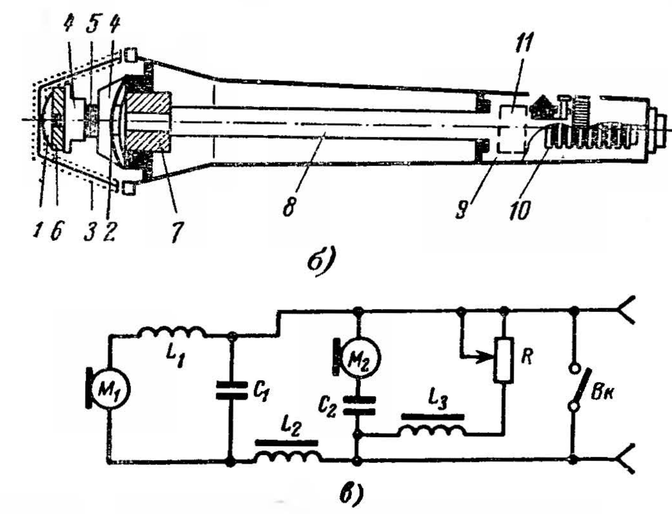


Рис. 5. Широкополосный двухголовочный электродинамический катушечный микрофон типа D-202.

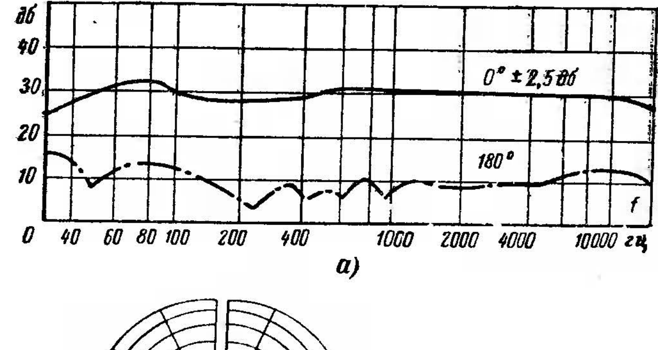
а — внешний вид; *б* — устройство микрофона (*1* — высокочастотная мембрана; *2* — низкочастотная мембрана; *3* — защитная металлическая сетка; *4* — держатель системы; *5* — компенсационная катушка; *6* — высокочастотная головка; *7* — низкочастотная головка; *8* — звуковая трубка — волновод; *9* — демпфирующая камера; *10* — выходные воздушные отверстия; *11* — *LC*-фильтр); *в* — электрическая схема микрофона.

верке тракта. Ленточные микрофоны необходимо оберегать от потока воздуха (ветра, «сквозняка»). Ими недопустимо пользоваться на открытом воздухе. Располагать микрофоны при записи нужно не

ближе 1,5—2,0 *м* от источника звука, хранить обязательно в мягкой противоударной упаковке, защищать от пыли и влаги.

Микрофон подключают к магнитофону или усилителю только с помощью стандартного разъема и только двухпроводным экранированным шлангом, в котором оба внутренних провода являются равноценными сигнальными.

Корпус микрофона не должен соединяться ни с одним из этих проводов, а подключается к бронированной оплетке кабеля. Со стороны усилителя или магнитофона броня кабеля соединяется через корпус штекера с металлическим шасси, а оба экранированных сигнальных провода подходят непосредственно к входному элементу схемы (резистор утечки первой лампы, первичная обмотка входного трансформатора). Только там, у входного элемента схемы, один из сигнальных концов соединяется с корпусом (если это предусмотрено схемой).



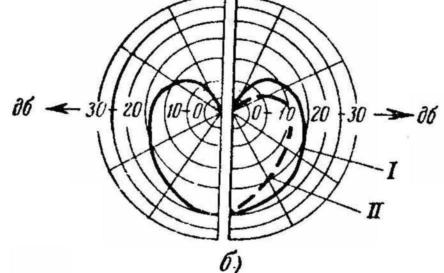


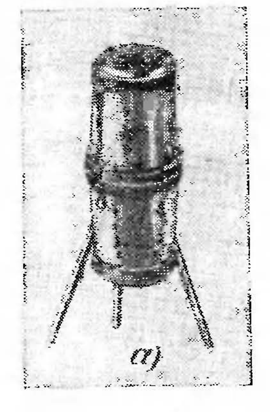
Рис. 6. Характеристики микрофона D-202.

а — частотная; *б* — диаграмма направленности.

Если микрофон должен подключаться к микрофонному входу магнитофона или усилителя, имеющих входное гнездо другого типа, чем штекер микрофона, необходимо заменить этот штекер, перепаяв подходящие к нему провода микрофонного кабеля соответственно схеме магнитофона или усилителя. Трогать входные цепи и разъемы Hi-Fi магнитофонов и усилителей совершенно недопустимо во избежание появления фона.

В некоторых магнитофонах и микрофонных усилителях указывается, на какой тип микрофона рассчитан его вход либо приводятся величины входного сопротивления и напряжения. В этих случаях подключение микрофонов другого типа или с иными выходными параметрами без корректирующих и согласующих звеньев недопустимо. Во всех случаях недопустимо непосредственное подключение конденсаторных микрофонов ко входу транзисторного усилителя из-за неизбежного резкого спада частотной характеристики тракта на нижних частотах.

Особо следует остановиться на стереофонических микрофонах. На практике одинаково пользуются и двумя однотипными микрофонами и специальными спаренными микрофонами. В первом случае можно использовать пару любых из указанных в табл. 4 микрофонов, но, разумеется, однотипных.



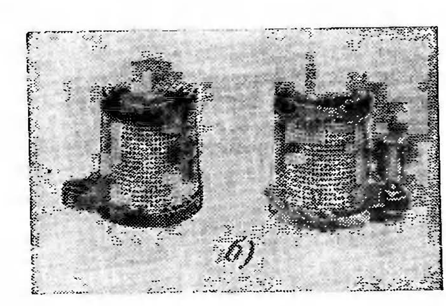


Рис. 7. Стереофонический микрофон типа D-77.

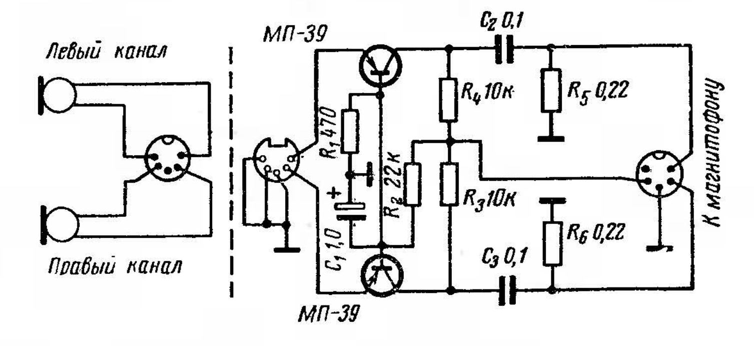


Рис. 8. Схема согласующего усилителя для подключения микрофона типа D-77 к магнитофону.

Примером спаренного стереомикрофона служит немецкий микрофон типа D-77, который может быть использован и как сдвоенный блок для записи по системе *Х-У* (рис. 7, *а*) и как два микрофона для записи стереофонии (рис. 7, *б*) по системе *А-В*. На рис. 8 дана схема согласующего усилителя для подключения микрофона к магнитофону.

Поскольку вопрос расположения микрофонов при записи является самостоятельным и ему посвящено немало страниц в целом ряде

брошюр и книг по стереофонии, мы его касаться не будем. Отметим только, что всегда, при любой стереозаписи с микрофона обязательно должно соблюдаться правило размещения микрофонов относительно входов магнитофона. По международным соглашениям принято подключение, изображенное на рис. 9. Понятие «левый» и «правый» приняты относительно слушателя, обращенного лицом к сцене (исполнителям).

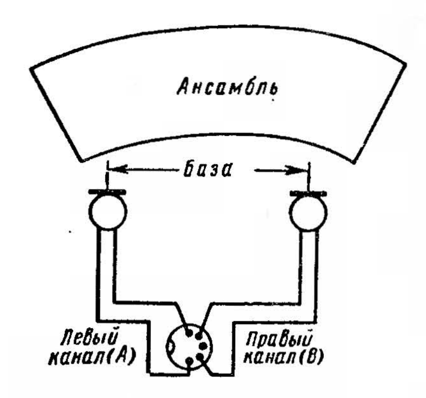


Рис. 9. Расположение микрофонов при системе стереопередачи АВ перед звучащим ансамблем и их подключение к разъему.

7. МАГНИТОФОНЫ

Если для обычных магнитофонов величина скорости движения ленты и полоса пропускания сквозного тракта являются основными характеристиками, определяющими качество и классность аппарата, то для Hi-Fi магнитофонов дело обстоит несколько иначе. В системе высококачественного звуковоспроизведения определяющими в первую очередь нужно считать такие показатели, как коэффициент колебания скорости протяжения ленты; коэффициент детонации, степень и стабильность прижима ленты к головкам, коэффициент нелинейных искажений, уровень шума (по отношению к номинальному уровню сигнала) и лишь во вторую очередь — полосу пропускания и другие привычные характеристики.

Качественные показатели радиовещательных (профессиональных) магнитофонов регламентируются ГОСТ 12107-66. В отношении магнитофонов широкого (бытового) применения продолжает действовать ГОСТ 8088-62. Все отечественные бытовые магнитофоны, даже самые лучшие, относятся ко второй группе. Из табл. 5 видно, что по таким параметрам, как коэффициент детонации, уровень собственных шумов, полоса пропускания и некоторым другим, ни один из них не может быть отнесен даже к «стандартному Hi-Fi классу» по принятой нами вначале классификации.

В табл. 6 для сравнения и оценки приведены параметры некоторых лучших отечественных и зарубежных бытовых и полупрофессиональных магнитофонов. Из таблицы видно, что даже эти лучшие (и, заметим, исключительно дорогие!) модели имеют параметры, едва удовлетворяющие установленным нами требованиям на Hi-Fi аппа-

Таблица 5

Параметр	I группа (профессиональные)		II группа (бытовые)		
	Нормы по скоростям				
	38	19	19	9	4
Точное значение скорости движения ленты, *см/сек*	38,1±0,5 %	19,05±0,5 %	19,05±2 %	9,53±2 %	4,76±3%
Неравномерность скорости движения в диапазоне частот 0,5—300 *гц*, %	±0,15	±0,25	±0,4	±0,6	±1,5
Рабочий диапазон частот, *гц*	31,5—16 000		40—12 000	63—10 000	80—5 000
Уровень шумов канала воспроизведения, *дб*	—64	—60	—40	—40	—40
Уровень шумов сквозного канала, *дб*	—60	—56	—40	—40	—40

Продолжение табл. 5

Параметр		I группа (профессиональные)		II группа (бытовые)		
		Нормы по скоростям				
		38	19	19	9	4
Коэффициент нелинейных искажений сквозного канала по напряжению, %	на линейном выходе	2,0	2,0	3,0	3,0	3,0
	на мощном выходе	3,0	3,0	5,0	5,0	5,0
Переходное затухание между стереоканалами, *дб* на частотах:	800 *гц*	20,0		20,0		—
	1000 *гц*	40,0		30,0		—
	8000 *гц*	30,0		25,0		—
Уровень стирания старой записи частоты 1000 *гц*, *дб*		72	72	60	60	60

Таблица 6

Параметр	Тип магнитофона							
	«Днепр-11»	«Яуза-10»	«МАГ-59»	«Тембр»	«ТК-45» Grundig	«ТК-245U» Grundig	«ТК-320» Grundig	«ТК-340» Grundig
Скорости движения ленты, *см/сек*	19,05 9,53	19,05 9,53	19,05	19,05	19,05 9,53 4,76	19,05 9,53	19,05 9,53 4,76	19,05 9,53
Частотный диапазон, *гц*	40—12 000 100— 6 000	40—15 000 60—10 000	50—10 000	40—12 000	40—18 000 40—15 000 40—10 000	50—16 000 50—12 500	40—18 000 40—15 000 40— 9 000	40—18 000 40—15 000 40—10 000
Число дорожек	2	4	2	2	4	4	2	4
Динамический диапазон, *дб*	35	40	40	40	50	52	52	50
Выходная мощность, *вт*	3,0	3,0	3,0	3,0	2×7,0	2×4,0	2×12,0	2×12,0
Диаметр кассет, *см*	18	15	18	18	18	18	18	18
Номинальное напряжение и сопротивление входных гнезд, *мв/Мом*	0,5/0,005 200/0,51 10^2/10,0	3,0/1,5 200/1,5 $2\cdot10^3$/1,5	0,5/0,0006 200/1,0 10^4/1,0	3,0/0,0006 100/1,0 10^4/1,0	2,0/1,5 80/2,2	2,0/1,5 80/1,5	2,0/1,5 100/1,0	2,0/1,5 100/1,0
Выходное напряжение на линейном выходе, *мв*	—	—	—	700	2×600	2×600	2×600	2×600

ратуру. Для того чтобы применить указанные в таблице типы бытовых магнитофонов для высококачественной системы звуковоспроизведения, их надо соответствующим образом доработать.

Мы лишены возможности дать здесь исчерпывающие консультации по этому вопросу. Подробное описание такой доработки может занять отдельную книгу. Однако основные рекомендации по переделке промышленных бытовых магнитофонов для любительских Hi-Fi систем можно привести.

Прежде всего укажем, что основной и коренной переработке должен подвергнуться лентопротяжный механизм (ЛПМ). Дело в том, что при используемых сейчас в магнитофонах маломощных двигателях в одномоторной кинематической схеме практически невозможно достигнуть требуемых значений коэффициента колебания скорости протяжения ленты и коэффициента детонации.

Поэтому самый верный и, пожалуй, самый простой путь к улучшению ЛПМ — это переход на трех- или, в крайнем случае, двухмоторную кинематическую схему. Пусть радиолюбителей не пугает такой совет: при трехмоторной системе кинематическая схема ЛПМ предельно упрощается, а не усложняется, как это может показаться вначале. При такой переделке из ЛПМ исключаются все узлы, механизмы и относящиеся к ним рычаги, тяги и приводы, связанные с подмоткой и обратной перемоткой ленты. Взамен них к правому и левому узлам перемотки присоединяют простейшие приводы от дополнительных двигателей перемотки, в качестве которых могут быть использованы различные дешевые маломощные моторчики, например от электропроигрывателей. Подробнее этот вопрос освещен в литературе по магнитофонам.

Разгруженный таким образом основной двигатель после переделки будет служить только для протягивания ленты. Если ось этого двигателя является ведущей, необходимо ввести в кинематическую схему промежуточный узел с достаточно тяжелым маховиком, ведущая ось которого должна быть проточена и отшлифована таким образом, чтобы ее наружный диаметр при выбранных коэффициентах передачи обеспечивал точное значение средней линейной скорости и достаточную величину вращающего момента.

В любительских условиях трудно осуществить надежную и простую систему переключения скоростей механическим способом, поэтому можно рекомендовать радиолюбителям делать ЛПМ на одну скорость — 9,5 *см/сек*, а для скорости 19,05 *см/сек* применять съемную насадку на ведущую ось с леворезьбовым самозатягивающимся стопорным винтом в торце оси. Если схема двигателя позволяет переключать скорость путем коммутации обмоток, то и этот вариант приемлем.

Коренной переделке следует подвергнуть и прижимной узел. Прежде всего надо поставить на шариковые подшипники направляющие колонки, с тем чтобы предельно уменьшить степень паразитного и неуправляемого натяжения ленты. При этом желательно переставить их таким образом, чтобы увеличить охват прижимного ролика лентой, как это показано на рис. 10, *а*, либо ввести для этого две дополнительные колонки (рис. 10, *б*), которые также должны быть снабжены шариковыми подшипниками.

Помимо переделки направляющих колонок и независимо от нее полезно ввести в тракт движения ленты входной и выходной стабилизаторы. Принцип действия стабилизатора ясен на рис. 11. При остановленном лентопротяжном механизме за счет усилия пружин

$П_1$ и $П_2$ между входным стабилизатором *1* и подающей кассетой, а также выходным стабилизатором *2* и приемной кассетой создаются петли ленты. В момент включения ЛПМ ведущий вал начинает протягивать ленту, тогда как подающая кассета еще не начала двигаться или не набрала нужную скорость. Если в магнитофоне нет

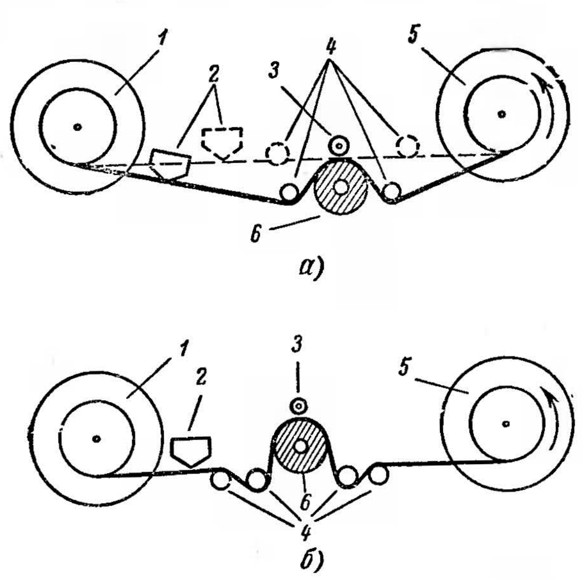


Рис. 10. Изменение кинематической схемы ЛПМ для уменьшения проскальзывания ленты.

а — путем перестановки направляющих колонок; *б* — путем введения дополнительных колонок (*1* — подающая кассета; *2* — головка воспроизведения; *3* — ведущий вал; *4* — направляющие стойки; *5* — приемная кассета; *6* — прижимный ролик).

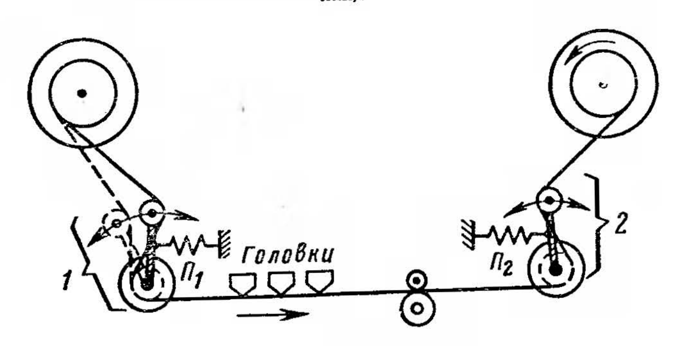


Рис. 11. Лентопротяжный механизм с входным и выходным стабилизаторами натяжения ленты.

стабилизатора, при этом происходит неизбежное перенатяжение или рывок ленты, имеющие место до тех пор, пока подающая кассета не достигнет нормальной скорости вращения. При наличии же стабилизатора первый рывок принимает на себя не лента, а подпружиненный рычаг стабилизатора. Аналогичная картина наблюдается у выходной ветви ленты.

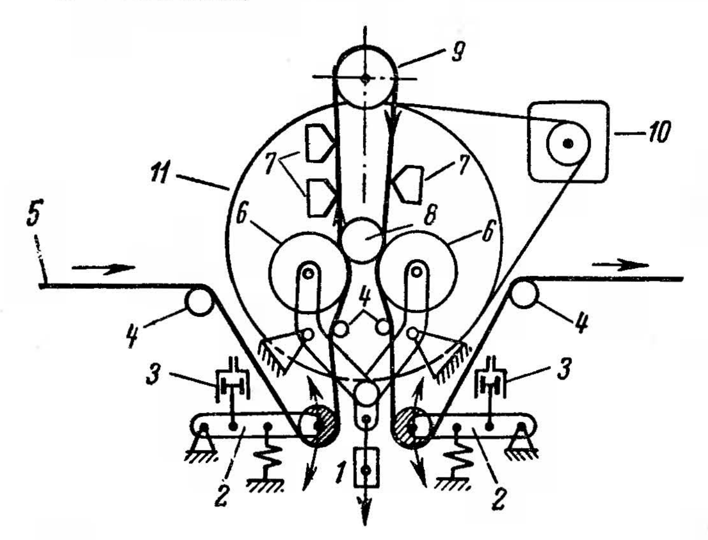


Рис. 12. Кинематическая схема ЛПМ с закрытой петлей.

1 — электромагнит прижимного узла; 2 — стабилизаторы натяжения ленты; 3 — гидравлические или пневматические демпферы стабилизаторов; 4 — направляющие стойки; 5 — лента; 6 — прижимные ролики; 7 — головки; 8 — ведущий вал; 9 — обводный ролик; 10 — ведущий двигатель; 11 — маховик тонвала.

Весьма малая нестабильность скорости движения ленты у головок получается у ЛПМ с закрытой петлей (рис. 12). Снижение нестабильности скорости уменьшает или полностью устраняет специфические искажения сигнала, называемые детонацией.

Монофонические головки нужно заменить на стереофонические, причем головки от стереомагнитофона «Яуза-10» вполне подходят по параметрам для любительского Hi-Fi магнитофона. Вопрос о необходимости дополнительной экранировки головок решается в каждом конкретном случае самим радиолюбителем.

Переделка электрической части магнитофона хотя и больше по объему, но в любительских условиях значительно проще, чем переделка ЛПМ. Чтобы избежать сложной коммутации и связанных с ней паразитных обратных связей, автор рекомендует сделать два одинаковых двухканальных усилителя — отдельно для записи и для воспроизведения.

Если усилительный тракт переделываемого магнитофона по электрическим параметрам удовлетворяет требованиям на Hi-Fi усилители или путем несложных переделок может быть доведен до требуемого уровня, то второй канал можно осуществить простым повторением имеющегося усилителя.

В канале записи Hi-Fi магнитофона совершенно необходимо применять только двухтактные генераторы токов стирания и подмагничивания, причем мощность генератора должна быть порядка 2—3 *вт*. При меньшей мощности трудно получить симметричный и неискаженный ВЧ сигнал на выходе генератора. Радиолюбителю следует помнить, что асимметрия отрицательной и положительных полуволн ВЧ тока всего на 1% приводит к увеличению собственных шумов на 4 *дб*.

Необходимо, чтобы собственная частота генератора была минимум втрое выше верхней границы полосы пропускания магнитофона, т. е. не ниже 60 *кгц*.

Правда, при этом нужно помнить, что на этих частотах очень трудно получить достаточно эффективное стирание без перегрева стирающей головки, особенно при использовании стандартных отечественных стирающих головок от бытовых магнитофонов. В этом случае выход может быть найден в создании генератора на две рабочие частоты. Основная частота порядка 40—45 *кгц* используется для стирания, а вторая ее гармоника (80—90 *кгц*) — для подмагничивания. Желательно на входе усилителя записи сделать смеситель (микшер). С его помощью можно осуществлять комбинированные записи по системе смешения или наложения и привести к одинаковой величине входные уровни от различных источников программ. Описания смесителей имеются в журнале «Радио» и брошюрах Массовой радиобиблиотеки.

В заключение можно посоветовать радиолюбителям не делать в магнитофоне мощные УНЧ и широкополосные акустические системы. Гораздо правильнее и лучше закончить магнитофон хорошим линейным усилителем с выходным сопротивлением 600 *ом* с амплитудой сигнала порядка 0,5—1,0 *в*. Сквозная частотная характеристика в полосе от 40 до 20 000 *гц* магнитофона должна иметь вид горизонтальной прямой, а коэффициент нелинейных искажений не должен превышать 0,1—0,2%. Лучше всего в выходном каскаде линейного усилителя использовать катодный повторитель на лампе 6Н1П, используя один триод в каждом канале.

Для контроля записи в магнитофоне можно сделать простейший одноламповый (на лампе 6Ф3П или 6Ф5П) усилитель, а на его выходе включить контрольный громкоговоритель типа 2ГД-3 или ему подобный.

8. МАГНИТНЫЕ ЛЕНТЫ

Ассортимент магнитных лент, применяемых для любительской звукозаписи, весьма велик, поэтому следует разобраться, какие из них наиболее подходят для использования в Hi-Fi системе.

Прежде всего важно отчетливо представлять себе, какие именно показатели ленты и в какой мере характеризуют ее качество. Поскольку сегодня существует огромное количество самых разнообразных лент специального и широкого применения, ограничимся рассмотрением лишь неперфорированных слойных лент шириной 6,25 *мм*, предназначенных для бытовых и профессиональных магнитофонов, рассчитанных на работу в интервале скоростей от 2,38 до 19,05 *см/сек*.

Именно с учетом таких ограничений и рассмотрим наиболее распространенные типы лент.

Толщина ленты. По принятой международной классификации за основной размер принимается толщина ленты порядка 55 *мк* с рабочим ферромагнитным слоем толщиной порядка 15 *мк*. В разных странах и в разные годы эта величина колебалась в некоторых пределах, поэтому встречаются основные ленты толщиной от 45 до 61 *мк*. Помимо основного типа выпускаются более тонкие, так называемые «долгоиграющие» ленты.

Тип основы ленты. Наиболее распространены ленты, имеющие целлофановую, полиэфирную и ацетатную основы. От материала основы в значительной мере зависят физико-механические свойства лент, поэтому полезно иметь общее представление об этих свойствах.

Триацетатная пленка имеет прочность на разрыв порядка 10 *кГ/мм*^{2}, температуру плавления (размягчения) порядка +180° С. Предел упругого растяжения не превышает 7—8 *кГ/мм*^{2}. При длительном хранении пленка на триацетатной основе подвержена «усадке» — произвольному укорочению. Это свойство является существенным недостатком, если ленты предназначены для синхронной записи, например при озвучании кинофильмов. Кроме того, при старении ленты этого типа подвергаются короблению, приводящему к «корытообразному» искривлению ленты в поперечном направлении.

Ленты на полиэфирной основе (в СССР — лавсановой, в США, в Японии и ФРГ — майларовой) имеют температуру плавления +250—+270° С, разрывную прочность 16—18 *кГ/мм*^{2}, предел упругого растяжения 12 *кГ/мм*^{2}. При длительном хранении лента практически не подвержена «усадке» (в 10—15 раз меньше, чем триацетатная), не коробится, не теряет эластичности.

Таким образом, полиэфирные пленки во всех отношениях предпочтительнее триацетатных. Что же касается пленок на целлофановой и хлорвиниловой основах, то в настоящее время они мало распространены и используются в основном для специальных целей, поэтому радиолюбители вряд ли с ними столкнутся.

Механические свойства. Важнейшими механическими характеристиками лент являются их разрывная прочность, эластичность, склонность к деформации при старении (усыхании), термостойкость.

Разрывная прочность характеризуется величиной усилия, прилагаемого вдоль ленты и разрывающего ее, и выражается обычно в килограммах или ньютонах.

Деформация при растяжении характеризуется относительным удлинением при приложении некоторой стандартизованной величины нагрузки и выражается обычно в процентах. Некоторые фирмы иногда приводят еще и величину остаточного необратимого растяжения после снятия нагрузки (также в процентах). Другие механические характеристики разными фирмами оцениваются и приводятся поразному.

Электрические характеристики. Важными показателями являются относительная частотная характеристика ленты, выражаемая обычно в децибелах на двух-трех стандартных частотах относительно некоторого начального уровня, принимаемого за нуль, уровень собственных шумов полностью размагниченной ленты, уровень шумов при намагничивании постоянным полем, копир-эффект, коэрцитивная сила и др.

Связь между значениями этих величин и качеством ленты для квалифицированных радиолюбителей очевидна; поэтому для эконо-

Таблица 7

Параметр ленты	Единица измерения	Тип ленты и страна-изготовитель: «2» СССР	«6» СССР	«CH» ГДР	«CR» ГДР	E-25 Maxell Япония	A-35 Maxell Япония	A-50 Maxell Япония
Общая толщина	*мк*	53	53	53	53	28	38	53
Толщина рабочего слоя	*мк*	14—16	16	16	16	11	13	14
Ширина	*мм*	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25
Материалы основы *	—	А	А	А	А	П	А	А
Обратимое относительное удлинение при приложении указанной нагрузки	*процент* / *кг*	1,5	1,12 / 1,0	1,29 / 1,0	1,12 / 1,0	0,4 / 0,7	0,4 / 0,8	0,2 / 1,0
Отношение сигнал/шум	*дб*	65	57	64	60	50	50	50
Уровень копир-эффекта	*дб*	48	50	50	50	45	48	48
Уровень стирания старой записи	*дб*	75	74	80	—	65	65	65
Относительная чувствительность	*дб*	+1 / −3	+8 / +5	+1 / −3	—	+1 / −4,5	+1 / −3,5	+1 / −3
Допустимое растягивающее усилие	*кг*	2,4	—	—	—	2,3	2,0	2,5

* П — полиэфирная; А — ацетатцеллюлозная.

мии места мы ограничимся приведением в табл. 7 соответствующих цифр.

Поскольку нет никакой возможности охватить в описании даже небольшую часть огромного количества выпускаемых типов лент, в таблице собраны данные о наиболее часто встречающихся лентах, как отечественных, так и зарубежных. Пользуясь таблицей, радиолюбитель сможет с достаточной степенью точности оценить пригодность для Hi-Fi записей той или иной ленты и выбрать наиболее подходящую.

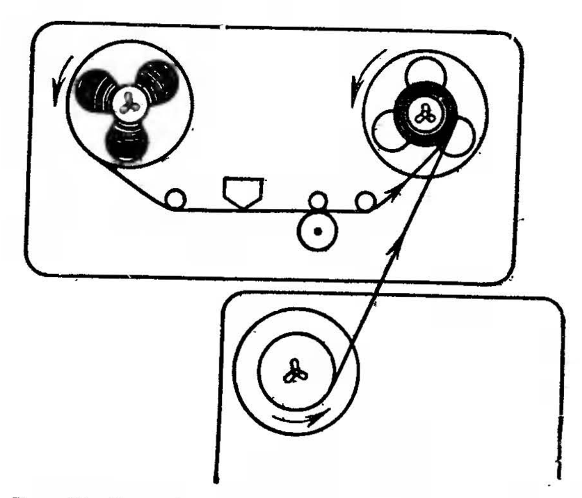


Рис. 13. Способ намотки ленты с прокладкой для снижения копирэффекта.

Тем не менее считаем нужным дать несколько советов. Прежде всего, не надо стремиться для высококачественных записей применять любые виды долгоиграющих лент. Такие ленты обычно рассчитаны на небольшие скорости протяжения (2,38, 4,76 и реже — 9,5 *см/сек*). А так как на этих скоростях электрические параметры магнитофона обычно занижены, то и пленки зачастую имеют характеристики, ухудшенные по сравнению с основным типом.

Не следует также стремиться к приобретению полированных и особо полированных лент, так как при всех своих положительных качествах такие ленты обладают меньшим сцеплением с тонвалом и нередко являются причиной проскальзывания при протяжении с вытекающей отсюда повышенной склонностью к детонации и «плаванию» звука.

Обычные неполированные ленты вовсе не настолько катастрофично шлифуют (стачивают) головки, чтобы отказаться от их применения при скоростях 19,05 и 9,5 *см/сек*.

Наконец, для снижения копир-эффекта при хранении ленты рекомендуем наиболее ценные ленты в процессе записи наматывать совместно с чистой, тщательно размагниченной лентой, как это показано на рис. 13. При этом копир-эффект может быть сведен почти

к нулю. Копирование со слоя на слой происходит наиболее энергично в первые минуты, поэтому бифилярную перемотку рекомендуется осуществлять прямо в процессе записи, либо, в крайнем случае, сразу же после записи. Уже через двое-трое суток чистую ленту можно вынуть и в дальнейшем хранить запись обычным образом, не боясь копир-эффекта.

И последний совет. Для того чтобы уменьшить неравномерность нагрузки на ленту в начале и конце катушки, наиболее ценные записи лучше всего осуществлять на ленте, намотанной на специально сделанные катушки с увеличенным начальным диаметром, как показано на рис. 14. Хотя емкость такой катушки и уменьшается почти вдвое, зато вчетверо уменьшается неравномерность натяжения ленты, а для Hi-Fi записи это соображение гораздо важнее расхода ленты.

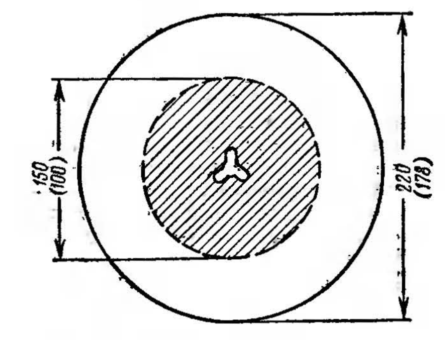


Рис. 14. Размеры кассет с большим диаметром втулки для получения небольших перепадов нагрузки на ленту.

9. ЗВУКОСНИМАТЕЛИ И ЭЛЕКТРОПРОИГРЫВАТЕЛИ

Из огромного разнообразия звукоснимателей, имеющихся в обращении, для систем Hi-Fi могут подойти лишь немногие. Также как и в остальных случаях, нужно иметь четкое представление об основных параметрах, характеризующих качество звукоснимателя: ширине полосы воспроизводимых частот, неравномерности частотной характеристики чувствительности в пределах этой полосы, величине нагрузки на иглу, коэффициенте нелинейных искажений, а для стереофонических головок (дополнительно) — разбросе чувствительности каналов на частоте 1 000 *гц* и в диапазоне частот и переходном затухании между каналами.

Нужно отчетливо представлять, в какой мере значения каждого из этих параметров сказываются при воспроизведении грамзаписи и из каких соображений выбирать звукосниматель для Hi-Fi проигрывателя, поэтому мы дадим здесь некоторые рекомендации.

Наименее существенными нужно считать величину чувствительности на 1 000 *гц* и неравномерности частотной характеристики чувствительности, так как эти параметры без труда и полностью могут быть скомпенсированы в последующих звеньях тракта, например в УНЧ.

В какой-то мере это относится и к полосе воспроизводимых частот, так как отдача звукоснимателя убывает постепенно как с пони-

жением, так и с повышением частоты за границами оговоренного (гарантированного) диапазона. Это позволяет «расширить» частотный диапазон звукоснимателя путем соответствующей коррекции частотной характеристики предварительного усилителя или применением корректирующего звена.

Величина нагрузки на иглу сама по себе не имеет решающего значения, так как несложной переделкой тонарма и введением регулируемых противовесов давление иглы на пластинку можно сделать сколь угодно малым и даже равным нулю. При малом давлении иглы на пластинку износ пластинки уменьшается. Однако при малом давлении игла будет выскакивать из канавки. Для наиболее распространенных типов звукоснимателей рекомендуемая нагрузка на иглу не выходит за пределы 1—5 *Г*.

Рекомендуемое давление на иглу и величина податливости подвижной системы жестко связаны между собой, поэтому при всех прочих равных условиях нужно отдавать предпочтение звукоснимателю с меньшей величиной давления на иглу. Если из двух предложенных для выбора звукоснимателей один имеет большее давление на иглу, но, к примеру, меньший коэффициент нелинейных искажений, чем другой, то выбирать надо, не задумываясь, первый. Действующий ГОСТ на звукосниматели допускает значения к.н.и. для первого класса 3%, для второго — 4% и для третьего — 5%.

Таблица 8

Тип головки	Фирма и страна-изготовитель	Полоса пропускания, *гц*	Неравномерность, *дб*	Давление на иглу, *Г*	Радиус иглы, *мк*	Чувствительность, *мв.сек/см*	Переходное затухание между каналами, *дб*
ГЗУМ	ИРПА СССР	31,5—20 000	±6,5	2—5	19 и 70	70	25
ГЗКУ-631	СССР	30—18 000	±9,0	1,5—3	—	75	25
ГЗК-62	СССР	50—20 000	±10,0	0,5—1,5	—	100	20
9ТА	Sonoton США	20—17 000	±3,0	2,0—4,0	17 и 65	100	25
ADC-220	ADC США	10—20 000	±2,0	2,0—5,0	17	1,45	35
STS-333	GMBH ФРГ	20—20 000	±1,0	1,5—3,0	17	1,0	25
STS-444	GMBH ФРГ	10—21 000	±1,0	0,5—1,5	13	1,0	28
BR	Grado США	15—40 000	±2,0	1,0—4,0	15	1,7	20
A-2	Grado США	10—50 000	±3,0	1,0—4,0	7,5 и 15	1,7	20
V 15/AME-3	Packering США	10—25 000	±2,0	0,75—1,5	5 и 22,5	5,0	35
VC-8E	Sony Япония	10—25 000	±2,0	0,5—2,0	5 и 20	0,8	30

Что касается дополнительных характеристик стереофонических звукоснимателей, то здесь совершенно ясно, что чем меньше разброс параметров и характеристик его каналов и чем больше переходное затухание между каналами, тем лучше звукосниматель. Основные характеристики наиболее часто встречающихся отечественных звукоснимателей, а также лучших зарубежных приведены в табл. 8.

Помимо звукоснимателей в продаже часто встречаются готовые платы (панели) электропроигрывателей с двигателем, диском, тонармом и рядом вспомогательных механизмов (автостоп, микролифт и др.), а также электрофоны, имеющие помимо указанной платы еще и УНЧ с встроенными или выносными громкоговорителями. Электрофоны встречаются, пожалуй, значительно чаще, чем отдельные платы или просто звукосниматели, однако для создания системы Hi-Fi могут представлять интерес лишь платы со звукоснимателем, так как обычно УНЧ и акустика электрофонов, подчиненные идее портативности и транспортабельности, имеют весьма посредственные показатели.

При оценке качества таких плат помимо собственных характеристик звукоснимателей, рассмотренных выше, важное значение имеют уровень фона звукоснимателя, обусловленного наводками от электродвигателя, и уровень помех от механических вибраций, ограничивающие реальный динамический диапазон системы в целом, коэффициент детонации, имеющий тот же смысл и те же единицы измерения, что и для магнитофонов, а также эксплуатационные характеристики, т. е. количество и величины скоростей вращения диска и допустимые диаметры грампластинок.

Так как смысл этих характеристик и связь между их количественными значениями и качеством платы в целом очевидны, мы не будем останавливаться на их анализе, а ограничимся приведением характеристик для отечественных и зарубежных плат бытовых электрофонов (см. табл. 9).

Таблица 9

Тип платы	Фирма и страна-изготовитель	Уровень электрических наводок (фона) по отношению к номинальному (максимальному) уровню сигнала, *дб*	Уровень механических вибраций, *дб*	Коэффициент детонации, %
I-ЭПУ-72С	ИРПА, СССР	—60	—40	0,12
II-ЭПУ-32С	СССР	—60	—40	0,18
II-ЭПУ-22-4	СССР	—50	—20	0,3
Miraphon 22H	СМВН, ФРГ	—58	—38	0,07
PE-2020	PE, ФРГ	—60	—13	0,1

Примечание. Скорости вращения диска всех приведенных электрофонов $16^2/_3$, $33^1/_3$, 45 и 78 *об/мин*.

Важно правильно подключить стереопроигрыватель и стереомагнитофон к УНЧ, т. е. не перепутать местами левый и правый каналы. В соответствии с международными соглашениями в СССР согласно ГОСТ 8383-63 принята маркировка, приведенная в табл. 10. Если головка звукоснимателя универсальная, т. е. рассчитана на воспроизведение как стерео-, так и монозаписей, она обычно имеет переключаемую иглу. В этом случае при переключении иглы нужно ориентироваться по маркировке, предусмотренной ГОСТ и приведенной в табл. 11.

Таблица 10

Количество выводов	Выводный элемент	Номера выводных контактов	Цвет выводящего провода
3	«Левый» тракт (сигнальный провод)	1	Белый
	Общий провод («земля»)	2	Черный
	«Правый» тракт (сигнальный провод)	3	Красный
4	«Левый» тракт (сигнальный провод)	1	Белый
	«Левый» тракт («земля»)	2	Синий
	«Правый» тракт (сигнальный провод)	3	Красный
	«Правый» тракт («земля»)	4	Зеленый

Таблица 11

Типы проигрываемых пластинок	Обозначения рабочих положений головок		
	Буквенные	Символические	Цветовые
Стереофонические	С	◯◯	Белый
Стереофонические и монофонические с узкой канавкой (воспроизведение одной иглой)	МС	△ ◯◯	Красный с белым
Монофонические с узкой канавкой	М	△	Красный
Монофонические с широкой канавкой	78	□	Зеленый

10. ГРАММОФОННЫЕ ПЛАСТИНКИ

Для высококачественного звуковоспроизведения наиболее подходят монофонические и стереофонические долгоиграющие пластинки из материалов на основе винилитовых смол диаметром 250 и 300 *мм*, рассчитанные на скорость вращения $33^1/_3$ *об/мин*. Пластинки диаметром 174 *мм* на 45 *об/мин* с широким центровым отверстием и пластинки на скорость $16^2/_3$ *об/мин*, предназначенные для использования в музыкальных автоматах и автомобильных проигрывателях, имеют обычно значительно более низкое качество записи и не могут быть рекомендованы.

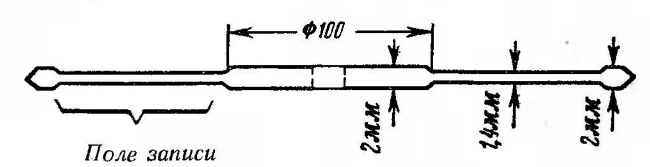


Рис. 15. Поперечное сечение современной долгоиграющей грампластинки.

Шеллачные и прочие типы грампластинок прошлых лет выпуска с широкой канавкой на скорость 78 *об/мин*, а также всевозможные пластинки на гибких пленках (типа «говорящих писем», фонограмм студий звукозаписи, записей издания «Горизонт» и т. п.) для высококачественного звуковоспроизведения вообще не пригодны.

Зарубежные фирмы для высококачественного звуковоспроизведения обычно выпускают специальные грампластинки, имеющие на этикетке эмблему Hi-Fi. У лучших из них гарантируются следующие качественные показатели: полоса частот записи 20—20 000 *гц*, отклонение частотной характеристики от заданной в пределах указанной полосы ±2 *дб*, относительный уровень собственных шумов —45 *дб*, переходное затухание между каналами стереопластинок 40 *дб*.

Советская фирма «Мелодия» в настоящее время также выпускает стереозаписи на дисках диаметром 174 *мм*, однако по своим показателям они пока что значительно уступают зарубежным. Демонстрационные и измерительные пластинки Всесоюзного государственного дома радиовещания и звукозаписи по качеству значительно выше и практически не уступают лучшим зарубежным.

Подавляющее большинство современных Hi-Fi грампластинок имеет форму поперечного сечения, показанную на рис. 15. Собственное поле записи имеет толщину порядка 1,4 *мм*, а центральная часть пластинки диаметром 100 *мм*, называемая обычно «полем этикетки», а также защитный «бортик» по внешнему краю пластинки имеют толщину 2 *мм*. Такая конфигурация пластинки обеспечивает защиту рабочей части от царапин и других повреждений при хранении пластинок в стопке и использовании их в аппаратах с автоматической сменой пластинок.

Хорошая современная долгоиграющая пластинка при идеализированных условиях воспроизведения (новая игла со стандартным радиусом закругления, малое давление на пластинку, отсутствие биений диска проигрывателя) может выдержать без заметного ухудшения качества не менее 100 воспроизведений, однако в реальных

условиях качество иглы почти всегда далеко от идеального, двигатель электрофона создает ощутимые биения, поэтому износ пластинки наступает значительно раньше.

Практически уже после 15—20 проигрывателей даже у самых хороших пластинок уровень собственного шума возрастает до —20 ÷ ÷ 26 *дб*. Кроме того, при эксплуатации пластинок появляются царапины, точечные повреждения и микросколы от установки звукоснимателя на середину вращающейся пластинки или съема его с рабочих канавок, т. е. не дожидаясь окончания записи и остановки пластинки «автостопом». Вредит пластинкам и их использование в автоматах.

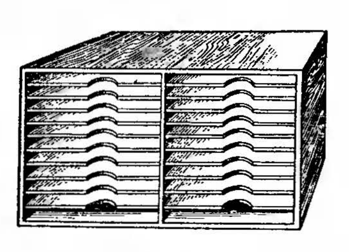


Рис. 16. Ящик для хранения Hi-Fi грампластинок.

Все это вместе взятое ограничивает срок использования грампластинок в Hi-Fi системах десятью — пятнадцатью проигрываниями. Эти данные приводятся для того, чтобы радиолюбители научились ценить действительно высококачественные записи и обращались с ними весьма бережно.

По вопросу правильного хранения грампластинок часто встречаются противоречивые рекомендации. Одни советуют хранение «стопкой», другие — только вертикальное и т. д. Из нашего опыта можно дать следующий совет: поскольку обычно у радиолюбителей коллекция действительно высококачественных Hi-Fi пластинок очень редко превышает 30—50 штук, для их хранения надо сделать ящик по типу изображенного на рис. 16. Его горизонтальные ячейки высотой 6—8 *мм* имеют полки из плоского оконного стекла толщиной 1,5 *мм*, имеющего обычно довольно плоскую поверхность. В каждой секции хранится одна пластинка, обязательно в пластмассовом чехле. При таком способе исключаются возможность механических повреждений и медленных пластических деформаций, происходящих при вертикальном способе хранения.

Перед каждым проигрыванием и после него пластинка должна быть тщательно протерта мягким материалом, не оставляющим ворса, для удаления пылинок и продуктов выработки (крошка и стружка), неизбежно появляющихся при каждом проигрывании.

Совершенно недопустим нагрев пластинки выше +25° С, так как при более высокой температуре материал пластинки размягчается и ее проигрывание сопровождается ускоренным износом.

11. ДЕТЕКТОРНЫЕ ВЫХОДЫ РАДИОПРИЕМНИКОВ

Для высококачественного звуковоспроизведения может представлять интерес только радиовещание на УКВ с частотной модуляцией, имеющее относительно высокие качественные показатели. Радиовещание на всех остальных диапазонах с амплитудной модуляцией имеет характеристики не выше второго класса качества, поэтому мы здесь не будем рассматривать подобные системы.

Радиовещание с ЧМ предполагает в качестве демодулятора приемника элемент, преобразующий частотно-модулированный сигнал в амплитудно-модулированный. Чаще всего таким элементом служит дискриминатор или дробный детектор (детектор отношений). Для уменьшения уровня шумов на высших частотах в передающем тракте вводят предыскажение — подъем частотной характеристики на высших частотах примерно на 12 *дб* (в 4 раза по напряжению). Мы условились называть их корректнсами. Постоянная времени предыскажающей цепочки обычно составляет 75 *мксек*.

Для того чтобы приемная аппаратура обеспечивала при воспроизведении радиовещательной программы линейную частотную характеристику, после детектора ЧМ сигнала обычно включают корректирующую *RC* цепочку с постоянной времени 75 *мксек*, вносящую искажения обратного характера (рис. 17, *а*). Однако в отдельных случаях такая цепочка в приемнике может и отсутствовать. Поэтому радиолюбителю, строящему Hi-Fi усилитель для работы от детектора радиоприемника, можно посоветовать предусмотреть в цепи этого входа тумблер или кнопку, чтобы вводить в тракт или исключать из него указанную цепочку (рис. 17, *б*). При отсутствии такой цепочки составляющие высших частот будут заметно «подняты», что приведет к нарушению естественности звучания и неприятному шипению.

Рис. 17. Схема включения фазокорректирующей цепочки.

а — в схему дробного детектора; *б* — в схему УНЧ.

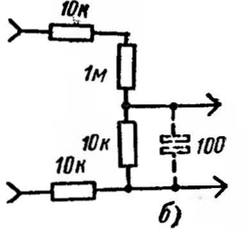
Практика показывает, что в случаях воспроизведения радиовещательной программы через отдельный УНЧ узел коммутации и подходящие к нему цепи подвержены наводкам, что приводит к появлению фона, уменьшающего и без того ограниченный динамический диапазон тракта.

Во избежание этого можно рекомендовать радиолюбителю включать в приемнике после детектора катодный (эмиттерный) повторитель. Величину выходного сопротивления этого каскада следует выбрать с учетом волнового сопротивления применяемого соединительного кабеля или шланга. Это обеспечит минимальную потерю уровня сигнала и малые частотные искажения. В этом случае «детекторный» вход УНЧ также полезно согласовать с кабелем.

12. ЛИНИИ ПРОВОДНОГО ВЕЩАНИЯ

Сети проводного вещания строят по первому классу качества (в крупных городах) и по второму (в остальных). В качестве источника программы для трактов высококачественного звуковоспро-

изведения могут использоваться только линии первого класса, хотя и они не всегда обеспечивают параметры, которые мы условились считать обязательными для Hi-Fi систем.



По действующим сейчас нормам сети первого класса имеют следующие параметры: полоса пропускания 50—10 000 *гц* при допустимом спаде характеристики до 4 *дб*, уровень фона и шумов — 56 *дб*, номинальное напряжение абонентских линий 30 *в* (в Москве 15 *в*).

Воспроизведение программ с линий проводного вещания имеет некоторую специфику в связи с тем, что номинальное напряжение абонентской линии и обычная чувствительность УНЧ несоизмеримы и различаются в десятки раз. Подключение УНЧ непосредственно к абонентской линии, без делителя напряжения, недопустимо.

Рис. 18. Подключение к абонентской линии проводного вещания.

а — абонентского громкоговорителя (*1* — линия; *2* — ограничительные резисторы; *3* — штепсельная розетка; *4* — абонентский громкоговоритель с понижающим трансформатором и регулятором громкости); *б* — схемы подключения низкоомного и высокоомного делителей к штепсельной розетке.

Назначение делителей напряжения сводится к понижению в 50—100 раз напряжения линии без внесения частотных искажений. Задача эта не так проста, как может показаться вначале, поэтому имеет смысл рассмотреть некоторые тонкости такого согласования.

Схема оборудования абонентской точки проводного вещания показана на рис. 18, *а*. В него входят ограничитель, служащий для защиты линии проводного вещания от последствий короткого замыкания в абонентском оборудовании, абонентская проводка со штепсельной розеткой и сам громкоговоритель с понижающим трансформатором и регулятором громкости.

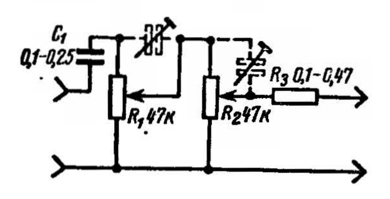


Рис. 19. Двухступенчатый делитель-регулятор для подключения УНЧ к линии проводного вещания.

Ограничитель обычно представляет собой два резистора одинаковой величины (200—300 *ом*), включенные в каждый из проводов абонентской проводки, идущей к абоненту от линии.

Если к штепсельной розетке подключить высокоомный делитель с соотношением 100 : 1 (рис. 18, *б*), то из-за наличия входной емкости усилителя, доходящей при наличии соединительных шлангов и коммутирующих устройств до 100 *пф*, неизбежен спад высоких частот. Конечно, проще всего было бы применить согласующий трансформатор, однако это нежелательно из-за неизбежных частотных, а главное — нелинейных искажений.

Автором предложено для Hi-Fi УНЧ довольно простое устройство, позволяющее в широких пределах плавно регулировать напряжение на линейном входе УНЧ от линий с различными номинальными напряжениями.

Устройство представляет собой сдвоенный потенциометр, включенный по двухступенчатой схеме деления (рис. 19). В этом случае при линейных потенциометрах (кривая *А*) возможно более плавно регулировать напряжение и получать весьма малые выходные напряжения (порядка десятков и сотен милливольт) не на исчезающе малом участке подковки со стороны нуля, а в зоне нормального регулирования.

Потенциометр этот устанавливают непосредственно в смесителе (микшере) УНЧ, а его ось выводят под шлиц или с помощью гибкого троса на пульт управления. Чтобы делитель не создавал заметного спада частотной характеристики на низших и высших частотах, величины потенциометров выбирают в пределах 10—100 *ком*, а в случае необходимости осуществляют высокочастотную коррекцию с помощью подстроечных конденсаторов, показанных на рис. 19 пунктиром.

Резистор R_3 предназначен для получения необходимой величины выходного сопротивления регулятора и предотвращает появление шорохов и тресков при вращении оси. Наличие разделительного конденсатора C_1 необходимо для того, чтобы предотвратить попадание на вход усилителя постоянного напряжения, могущего оказаться в линии по тем или иным причинам.

Глава третья

ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЕ УСИЛИТЕЛИ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

13. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Усилители низкой частоты в общем тракте Hi-Fi звуковоспроизведения являются, пожалуй, единственным звеном, все характеристики которого сравнительно легко могут быть сделаны лучше, чем это предусматривается требованиями на весь тракт. Сегодня — это единственное звено, которое может иметь характеристики «экстра-класса».

Объясняется это не тем, что УНЧ — самое простое звено в тракте, а большими возможностями в варьировании схемными и конструктивными решениями, наличием широчайшего ассортимента усилительных элементов, высококачественных трансформаторных сталей и, главное, очень большим опытом конструирования усилителей.

В силу этого на УНЧ в Hi-Fi тракте возлагаются, кроме собственно усилительных функций, еще и функции исправления, коррек-

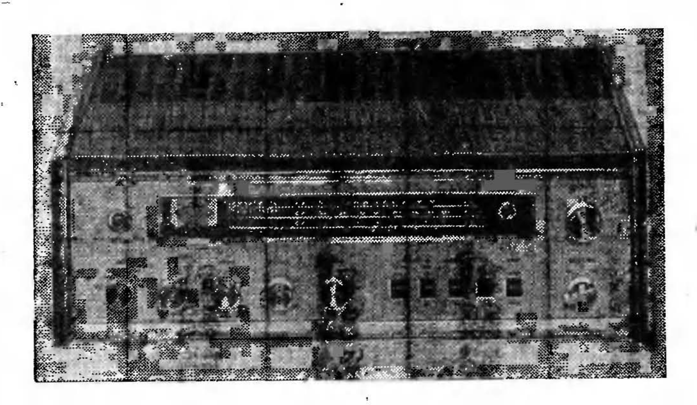
Таблица 12

Тип усилителя	Страна-изготовитель	Выходная мощность каждого канала, *вт*	Коэффициент нелинейных искажений, %	Рабочая полоса частот, *гц*	Неравномерность частотной характеристики, *дб*	Глубина регулировки тембра, *дб*	Относительный уровень фона и шумов, *дб*	Переходное затухание между каналами, *дб*	Стандартные входы усилителя, *мв/Мом*
HSV-60T	ФРГ	30	<0,5	10—22 000	±1,5	± 15 (30 *гц*) ± 15 (15 *кгц*)	—70	60	5/0,047 250/0,5
HSV-40T	ФРГ	20	<0,5	20—20 000	±1,5	± 15 (30 *гц*) ± 15 (15 *кгц*)	—70	60	5/0,012 50/0,5 300/0,5
SV-80	ФРГ	30	<0,5	10—50 000	<2,0	± 18 (20 *гц*) ± 18 (20 *кгц*)	—75	60	Нет сведений
AA-15	ФРГ	50	<0,2	5—50 000	±1,0	± 20 (10 *гц*) ± 20 (30 *кгц*)	—80	55	2,2/0,051 200/0,1

Продолжение табл. 12

Тип усилителя	Страна-изготовитель	Выходная мощность каждого канала, *вт*	Коэффициент нелинейных искажений, %	Рабочая полоса частот, *гц*	Неравномерность частотной характеристики, *дб*	Глубина регулировки тембра, *дб*	Относительный уровень фона и шумов, *дб*	Переходное затухание между каналами, *дб*	Стандартные входы усилителя, *мв/Мом*
AA-14E	ФРГ	15	<0,7	15—60 000 7—90 000	±1,0 ±3,0	± 20 (20 *гц*) ± 20 (30 *кгц*)	—70	45	4/0,047 300/0,18
VI	США	50	0,09	5—90 000 2—300 000	±1,0 ±3,0	± 15 (20 *гц*) ± 15 (20 *кгц*)	—95	60	2,5/0,047 10/0,047 400/0,1
TX-500	США	30	0,25	5—100 000	±1,0	± 15 (20 *гц*) ± 15 (20 *кгц*)	—75	60	2,0/0,047 4,0/0,047 200/0,47
SM-83	Япония	30	1,0	5—100 000	± 1,0	± 13 (50 *гц*) ± 13 (10 *кгц*)	—80	60	2,0/0,047 25,0/0,047 200/0,47

ции частотных искажений, вносимых в тракт другими его элементами. Этим и объясняется, что современный Hi-Fi усилитель представляет собой очень сложное многоламповое или многотранзисторное устройство с большим количеством основных и вспомогательных регулировок и широкими эксплуатационными возможностями.



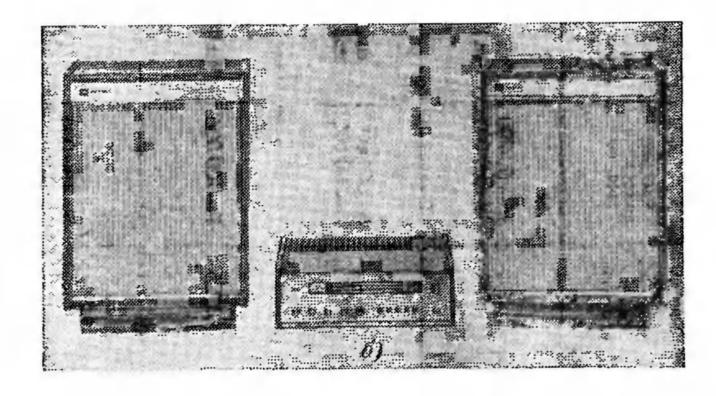


Рис. 20. Стереокомплект фирмы «National» (Япония). Усилитель низкой частоты (*а*) с двумя акустическими колонками 2×15 *вт* и УКВ-ЧМ-стерео приемником (*б*).

У нас в стране пока еще не получил распространения выпуск на рынок УНЧ, как самостоятельных устройств. За рубежом в продаже имеется довольно много таких устройств, в комплект которых входит высококачественный широкополосный усилитель, чаще всего двухканальный стереофонический с тремя — пятью входами и два (реже один) мощных широкополосных акустических агрегата.

Чтобы радиолюбители имели представление о характеристиках таких систем, в табл. 12 приведены данные таких усилителей, а на рис. 20 показан внешний вид одного из них вместе с выносными акустическими системами. О конструкции, схемах и параметрах таких акустических систем мы более подробно расскажем в следующей главе.

Несмотря на исключительно высокие электрические показатели современных Hi-Fi усилителей, в ближайшие годы несомненно будет наблюдаться дальнейшее их совершенствование. Не трудно предсказать, в каком направлении будет осуществляться такое совершенствование.

Частотная характеристика УНЧ будет доведена во всех моделях до 5—10 *гц* со стороны нижней границы и до 50—70 *кгц* со стороны верхней границы. Это необходимо для правильного, неискаженного воспроизведения всех (или почти всех) обертонов, которыми исключительно богато звучание обычных и особенно электронных музыкальных инструментов, а также для точного воспроизведения так называемой «жесткой атаки», т. е. передачи звуковых импульсов с крутым фронтом.

Коэффициент нелинейных искажений, видимо, будет доведен до 0,1—0,3% на низших частотах и до исчезающе малых значений (0,02—0,05%) на высоких.

Динамический диапазон УНЧ уже сейчас может быть легко доведен до значения 80 *дб*, однако вряд ли в ближайшем будущем этот порог будет перейден, поскольку пока что трудно предположить, что динамический диапазон всех остальных звеньев тракта, особенно электроакустических преобразователей — микрофонов и громкоговорителей, будет доведен до такой же величины.

Выходная мощность порядка 50 *вт* в каждом канале, видимо, будет считаться средней величиной. Наверняка будут усилители индивидуального пользования с выходной мощностью 100 *вт* и выше. Такая мощность нужна вовсе не для «оглушения слушателей», как иногда полагают некоторые радиолюбители, а для резкого снижения нелинейных искажений.

Вероятно, в УНЧ появятся различные системы автоматического регулирования и в первую очередь расширитель динамического диапазона — экспандер. Он окажется полезным при воспроизведении звучания крупных ансамблей (симфонического оркестра, хора) и органа.

Режим работы расширителя можно выбрать таким, чтобы он подавлял помехи в паузах передачи. Следует лишь заметить, что даже при использовании расширителя полностью избавиться от искажений динамического диапазона невозможно, так как его сжатие большей частью производится вручную.

Дав некоторую волю фантазии, можно допустить появление автоматического ограничителя уровня, предупреждающего возникновение нелинейных искажений при перевозбуждении усилителя ценой преднамеренного уменьшения динамического диапазона, поскольку первый вид искажений на слух более неприятен, чем второй.

Оправданным будет и введение в УНЧ устройства, автоматически ограничивающего частотную характеристику УНЧ со стороны высших частот в паузах и при отсутствии сигнала для исключения неприятного шипения, свойственного всем широкополосным устройствам звукового диапазона.

Одна из возможных схем такого устройства, предложенная автором, приведена на рис. 21. Работает она по принципу емкостного

шунта с лампой в качестве ключа, запираемого при наличии сигнала в тракте, и отпираемого при отсутствии такового. Постоянная времени цепи выпрямителя с диодом *Д* выбирается такой, чтобы схема не успевала срабатывать в небольших паузах во время передачи.

Возможно введение в УНЧ автоматов, предупреждающих выход усилителя из строя при сбросе нагрузки (т. е. случайном ее отключе-

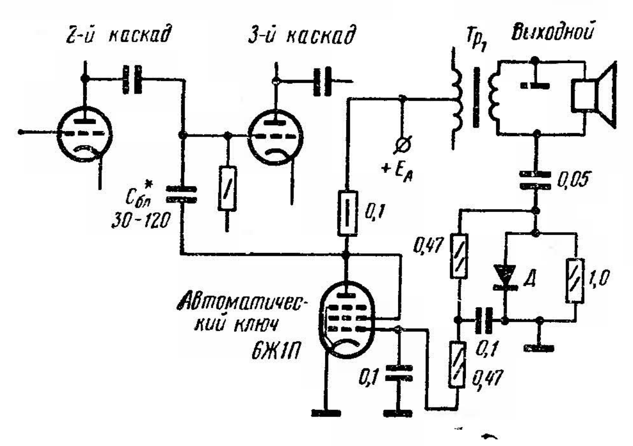


Рис. 21. Ограничитель ВЧ шумов в паузах.

нии). При выходных мощностях порядка 50—100 *вт* сброс нагрузки приводит к заметным перенапряжениям и легко может вызвать аварию.

14. ВХОДНЫЕ ЦЕПИ, КОРРЕКТИРУЮЩИЕ И СОГЛАСУЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Под входными цепями в УНЧ нужно понимать все, что находится до сетки лампы или базы транзистора первого усилительного каскада. В простейших обычных усилителях входные цепи могут состоять из одного потенциометра ручного регулятора громкости (РРГ) и соединительных проводов. В Hi-Fi усилителях «экстра-класса» входные цепи могут представлять собой блок, содержащий не только десятки резисторов, конденсаторов, потенциометров, но и дроссели, трансформаторы, переключатели, разъемы и даже лампы или транзисторы катодных или эмиттерных повторителей.

Впрочем, в отдельных случаях входные цепи могут содержать и усилительный каскад, например отдельно для микрофонного входа, однако такой дополнительный каскад работает только в одном из многочисленных режимов, поэтому его нельзя считать входящим в общий усилительный тракт как каскад усиления напряжения.

Входные цепи УНЧ — наиболее уязвимое место в отношении всевозможных паразитных наводок, так как по схеме они находятся в точке наименьшего полезного сигнала и наибольшей чувствительности усилителя. Это обстоятельство налагает особую ответственность на конструкцию входных цепей и требует от конструктора максимальной тщательности разработки этого узла.

В состав входных цепей Hi-Fi УНЧ обычно входят устройства, служащие для приведения напряжений различных источников сигнала к некоторой одинаковой величине, и корректирующие элементы.

Первые представляют собой активные или емкостные делители напряжения, низкочастотные трансформаторы, а также катодные и эмиттерные повторители. Для микрофонного канала, как мы уже

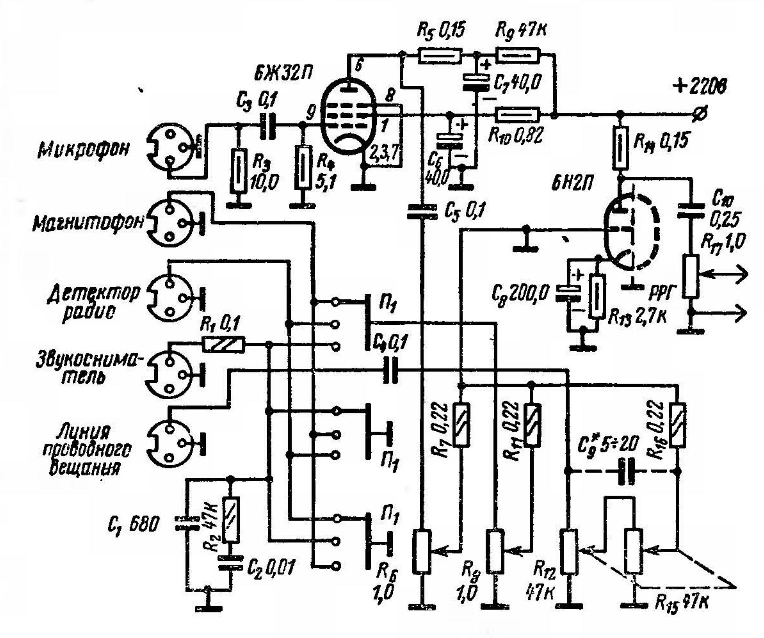


Рис. 22. Пример входных цепей лампового УНЧ.

указывали выше, в качестве устройств, приводящих величину входного напряжения к некоторому номиналу, может использоваться микрофонный усилительный каскад.

Общими требованиями для этих устройств являются минимальные частотные и нелинейные искажения и отсутствие внешних помех (фона).

Корректирующие цепи представляют собой во всех случаях схемы, содержащие реактивные элементы. Они являются частотно-зависимыми делителями напряжения или резонансными устройствами. Их назначение — изменять определенным образом спектр проходящего через них сигнала. Независимо от того, что является источником или носителем одной и той же музыкальной или речевой программы, сигнал на выходе корректирующих цепей должен иметь одинаковый спектр. Поэтому такие корректирующие цепи всегда имеют частотную характеристику, отличающуюся от горизонтальной прямой. Однако по принятой нами вначале терминологии мы будем

считать изменение спектра сигнала в этом случае не частотным искажением, а частотной корректисой.

Обычно корректирующие цепи включаются непосредственно после источника сигнала и бывают рассчитаны на вполне определенный тип источника. На рис. 22 приведена схема входной цепи лампового, а на рис. 23 — транзисторного УНЧ, содержащие корректирующие цепи и цепи, служащие для приведения напряжения различных источников к одинаковой величине. Можно заметить, что нередко

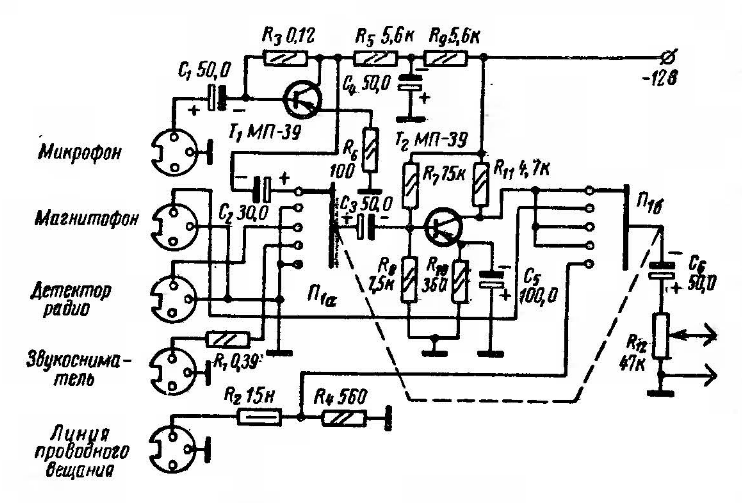


Рис. 23. Входные цепи транзисторного УНЧ.

одна и та же цепь используется для изменения величины напряжения и частотной коррекции.

Поскольку эти задачи чаще всего решаются во входных цепях, где напряжение сигнала мало, не возникает опасность появления нелинейных искажений как в случае применения трансформаторов, так и при использовании повторнтелей, причем практически совершенно безразлично, какой именно тип усилительного элемента применять. Однако по соображениям минимальных собственных шумов можно рекомендовать нспользовать в повторителях лампы и транзисторы с малыми значениями μ и S, а конкретно — транзисторы типов МП-39 и лампы 6Н1П, 6Н3П и им подобные.

15. КАСКАДЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО УСИЛЕНИЯ

При существующих сейчас источниках сигналов средняя чувствительность высококачественного уснлителя должна лежать в пределах 50 — 200 *мв*.

Между входными гнездами и сеткой первой лампы находятся корректирующне цепи, в которых сигнал ослабляется минимум вдвое (на 6 *дб*) на самом чувствнтельном входе. В тонкомпенсированном регуляторе громкости минимальное ослабление сигнала составляет

еще 6 *дб*. Регуляторы тембра, обеспечивающие глубину регулировки ±20 *дб*, обычно ослабляют сигнал еще на 30—40 *дб*. При наличии во входных цепях катодных повторителей потери сигнала возрастают еще на 3—6 *дб*. Итак, общее затухание сигнала составляет 45—58 *дб*.

Величина напряжения сигнала на сетках ламп оконечного каскада составляет в среднем 10—20 *в*. Отношение этой величины к входному напряжению сигнала составляет $10/50 \cdot 10^{-3} = 200$ (46 *дб*).

Итак, усиление предварительных каскадов с учетом затухания сигнала и необходнмого напряжения на сетках ламп оконечного каскада должно иметь величину порядка 90—100 *дб*. Иначе говоря, коэффициент усиления предварительных каскадов должен быть равен примерно 10^5. Это довольно значительная для низкочастотного усилителя величина.

Если коэффициент усиления по напряжению каждого из усилительных каскадов равен примерно 10, то, очевидно, число каскадов должно быть равно 5. При коэффициенте усиления каждого каскада порядка 100 общее количество каскадов будет равно 3 (с некоторым запасом). Поскольку коэффициент усиления, равный 10 на каждый каскад, обеспечивает практически любой современный низкочастотный ламповый триод, а коэффициент усиления 100 на каскад является предельным даже для хороших НЧ пентодов, то можно утверждать, что для ламповых усилителей число каскадов предварительного усиления должно лежать в пределах от трех до пяти. Для транзисторных усилителей коэффициент усиления одного каскада редко превышает 10, поэтому нужно считать нормальным в таких усилителях число каскадов усиления напряжения от 5 до 8.

Разумеется, в отдельных случаях возможны отклонения от приведенных расчетов в обе стороны, но, как показывает практика, не столь существенные, чтобы число каскадов усилителя вышло за указанные пределы.

Итак, ламповые схемы. Сколько же каскадов делать: 3 или 5? Первым, разумеется, напрашивается ответ «3». Однако не будем торопиться. Три каскада — это значит минимальный коэффициент усиления каскада $\sqrt[3]{10^5} \approx 50$. Заметнм, что это не μ лампы, а коэффициент усиления каскада, который редко превышает 50% от μ лампы. Следовательно, триоды отпадают. Значит, будет три каскада на пентодах или, в крайнем случае, два на пентодах и один на триоде. Последняя схема, не имеющая никакого запаса по усилению, не позволяет использовать в схеме отрицательную обратную связь, т. е. практически непригодна для Hi-Fi усилителей, ибо без отрицательной обратной связи немыслимо снизить коэффициент нелинейных искажений и расширить частотный диапазон до требуемых величин.

Три каскада на пентодах могут позволить ввести отрицательную обратиую связь, но тогда на пентоде оказывается собран и первый, входиой каскад, а в этом случае, как показывает опыт, практически невозможно добиться полного отсутствия микрофонного эффекта и уровня фона ниже — 60 *дб*.

Другая крайность — пять каскадов на триодах — всегда обеспечивает нужный коэффициент усиления даже на самых плохих лампах, однако, применяя лампы со средним коэффициентом усиления порядка 20—50, без труда удается получить требуемый коэффициент усиления с достаточным запасом прн четырех триодах (т. е.

на двух сдвоенных лампах). Такая схема и является наиболее распространенной.

Правда, многие зарубежные фирмы выпускают специально разработанный пентод для входного каскада с малым уровнем собственных шумов и не склонный к микрофонному эффекту (EF-184, EF-804 и др.). Применяя такой пентод и последующие триоды с большим μ (90—120) по типу ECC-83, удается получить нужный коэффициент

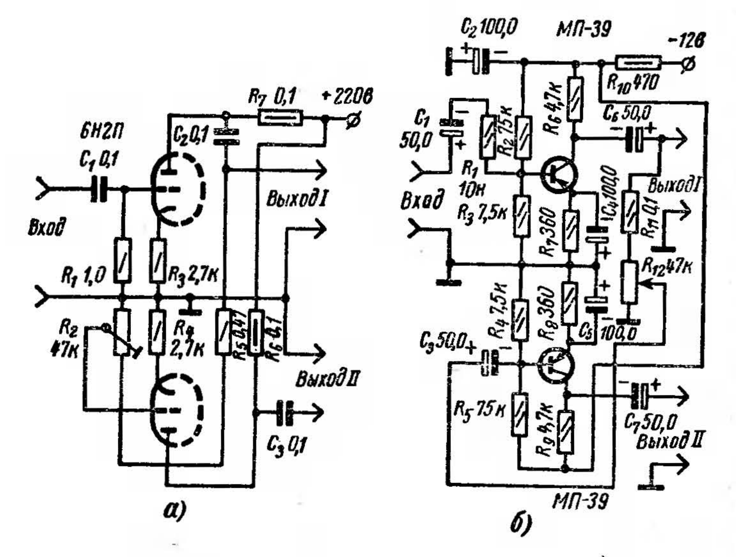


Рис. 24. Фазоинвертор с коэффициентом передачи больше единицы.

а — на лампе 6Н2П; *б* — на транзисторах МП39.

усиления на трех каскадах по системе пентод — триод — триод, но во-первых, такая система требует применения специальных ламп, а во-вторых — очень высокого качества трансформаторной стали, высокочувствительных оконечных ламп (6—8 *в* возбуждения) и т. д. Поэтому такая схема для наших радиолюбителей пока не подходит.

До сих пор мы обходили молчанием вопрос о фазоинверторах. Если фазоинвертор собран по схеме, в которой каждое плечо является одновременно и усилителем (например, по схеме рис. 24), то коэффициент усиления этого плеча учитывается в общем усилении тракта. Напоминаем, что учитывать нужно усиление только одного плеча, так как второе плечо инвертора является лишь согласователем для второго плеча двухтактного оконечного каскада и не входит в общий усилительный тракт.

Если же фазоинвертор собран по схеме симметричного катодного повторителя (рис. 25), то его коэффициент усиления всегда меньше единицы, поэтому такой каскад не только не является усилительным каскадом, но еще требует дополнительного увеличения общего усиления на 4—6 *дб*.

Методика выбора коэффициента усиления для усилителя на транзисторах совершенно та же.

Теперь конкретно о самих схемах каскадов предварительного усиления (КПУ). Это — простейшие резистивные усилители без каких-либо схемных особенностей. Типичным для всех каскадов, как на триодах, так и на пентодах, являются уменьшенные в 2—5 раз по сравнению с оптимальными расчетными величинами анодных (кол-

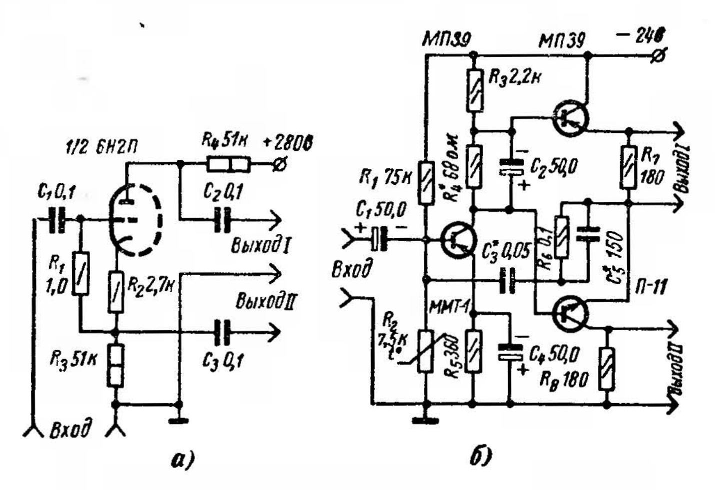


Рис. 25. Фазоинверторы с коэффициентом передачи меньше единицы.

а — на одном ламповом триоде; *б* — на транзисторах разной проводимости.

лекторных) нагрузок для расширения полосы пропускания в сторону более высоких частот, увеличенные до 0,1—0,25 *мкф* переходные конденсаторы и до 1—1,5 *Мом* резисторы утечки сетки для снижения спада частотной характеристики на низких частотах, применение отрицательной обратной связи по току во всех каскадах, кроме того, на котором собран блок регулировок частотной характеристики.

Что касается самих усилительных элементов, то за последние годы появилось множество различных новых типов ламп и транзисторов с отличными параметрами. Так, величина *S* у маломощных ламп стала равна 30—50 *ма/в* против привычных значений 3—10 *ма/в*, в связи с чем резко возросла чувствительность ламп. Подсчеты показывают, что теоретически все предварительное усиление можно получить даже на двух каскадах с такими лампами.

Однако мы считаем полезным предостеречь любителей от поспешности в выборе таких ламп или транзисторов. И дело здесь не в консерватизме, а в том, что увеличение, скажем, крутизны ламп достигается резким уменьшением зазора между управляющей сеткой и катодом, что значительно повышает склонность лампы к появлению

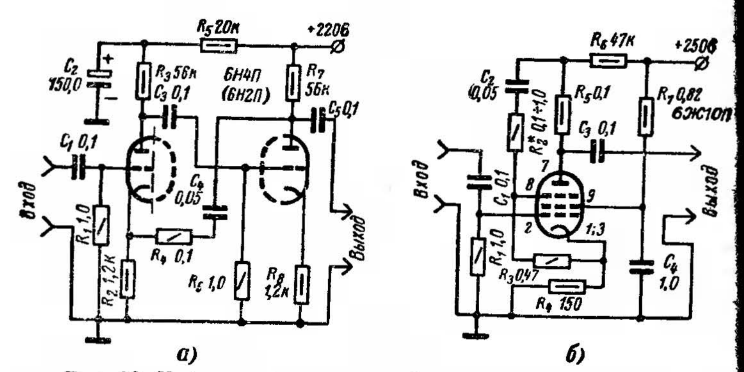


Рис. 26. Каскады предварительного усиления на лампах.

а — двухкаскадный усилитель с междукаскадной внутренней обратной связью; *б* — каскад с линеаризирующей обратной связью в цепи защитной сетки.

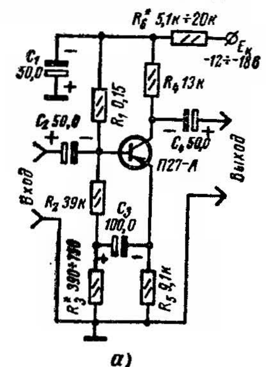
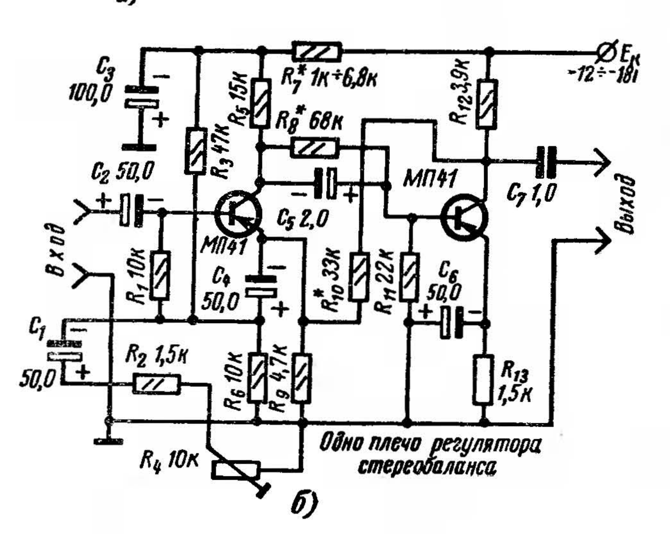


Рис. 27. Каскады предварительного усиления на транзисторах.

а — широкополосный каскад на одном транзисторе; *б* — двухкаскадный усилитель с гальванической связью и внутренней междукаскадной обратной связью.



термотоков и вытекающих из этого огромных нелинейных искажений. Немаловажны также большая стоимость и меньшая долговечность таких ламп.

Можно утверждать, что такие проверенные многолетней практикой лампы как 6Н1П, 6Н2П, 6Н3П, 6Н4П, 6Ж1П, 6Ж5П и транзисторы «устаревшей» серии П13 — П16 или МП39 — МП41 вполне годятся для предварительных каскадов даже самых лучших, самых современных усилителей. В заключение приведем несколько схем КПУ на лампах и транзисторах «старых» и «новых» типов в их обычных режимах использования (рис. 26 и 27).

16. ОКОНЕЧНЫЕ И ПРЕДОКОНЕЧНЫЕ КАСКАДЫ — УСИЛИТЕЛИ МОЩНОСТИ

Формально предоконечные каскады (драйверы, от английского слова *drive* — возбуждать, задавать, раскачивать) относятся к усилителям напряжения, т. е. к предварительным каскадам, однако мы умышленно говорим о них в этом, а не в предыдущем параграфе, чтобы подчеркнуть, что по характеру работы и по режимам использования драйверы значительно ближе к оконечным усилителям, т. е. усилителям мощности.

Для Hi-Fi усилителей характерна значительная величина выходной мощности порядка 15—50 *вт*. Это значит, что для возбуждения (раскачки) оконечного каскада без заметных нелинейных искажений уже требуется мощность порядка 1—5 *вт*, при напряжении до 25—35 *в*, а если учесть требования к уменьшению нелинейных искажений, то становится ясным, что обычные маломощные триоды не могут обеспечить возбуждения мощных оконечных ламп. Поэтому логичным и оправданным становится использование в последнем каскаде усиления напряжения мощных ламп.

Еще в большей мере сказанное относится к транзисторным усилителям, так как для мощных транзисторов коэффициент усиления по мощности редко превышает цифру 10. Для таких схем оправдано включение не одного, а двух предоконечных каскадов с последовательным возрастанием мощности в отношении от 5 : 1 до 8 : 1.

Возможно, что теоретически более правильно предоконечные каскады во всех случаях делать трансформаторными или дроссельными, чтобы получить наибольшую величину коэффициента использования по анодному напряжению ξ, однако есть несколько соображений, почему этого делать не следует.

Трансформаторный каскад всегда вносит заметные частотные искажения, а при мощностях свыше 1—2 *вт* и ощутимые нелинейные искажения. К тому же трансформаторы относительно дороги, сложны и трудоемки в изготовлении, тяжелы и громоздки, чувствительны к магнитным наводкам и одновременно являются источником наводок звуковой частоты для других цепей усилителя (в первую очередь входных).

В то же время в распоряжении радиолюбителей сейчас имеются отличные лампы и транзисторы средней мощности, широкополосные и экономичные, позволяющие без труда получить неискаженную мощность порядка 2—4 *вт* на активном сопротивлении нагрузки. К ним в первую очередь нужно отнести лампы типов 6П15П, 6Э1П, 6Ф3П, 6Ф4П, 6Ф5П, 6Ж5П, 6Ж9П и транзисторы серий П601 — П603, 1Т403-А — 1Т403, П701 — П702, КТ801-А и др.

Впрочем, если для ламповых предоконечных усилителей мы за реостатные схемы, то в транзисторных усилителях к этому вопросу нужно подходить более осторожно. В ряде случаев по соображениям более простого согласования целесообразно использовать трансформаторную связь. На рис. 28 и 29 приведены схемы предоконечных усилителей на лампах и транзисторах.

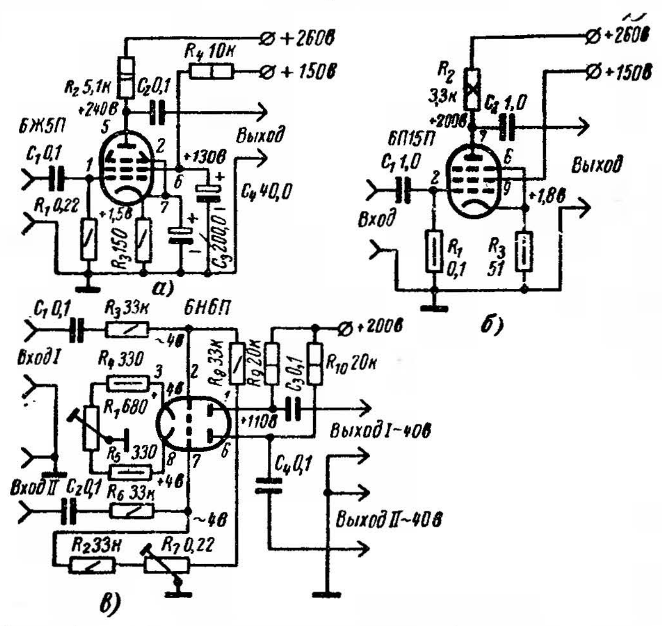


Рис. 28. Предоконечные каскады для возбуждения мощных оконечных ламп (35—100 *вт*).

а — на лампе 6Ж5П ($P_{вых}$=0,7 *вт*); *б* — на лампе 6П15П ($P_{вых}$=1,5 *вт*); *в* — двухтактный драйвер на лампе 6Н6П с балансировкой по постоянному и переменному току.

Оконечные усилители мощности целесообразно разделить на высокочастотные и низкочастотные. Такое разделение имеет смысл потому, что в двухканальных усилителях соотношение мощностей НЧ и ВЧ каналов не должно быть равно единице, а поэтому и схема и конструкция более мощных НЧ каскадов, рассчитанных на номинальную мощность 25—50 *вт*, будут иными, чем для ВЧ каскадов с выходной мощностью 4—10 *вт*. И хотя в ряде случаев можно сделать одноканальный широкополосный УНЧ мощностью 10—15 *вт* с разделением спектра на выходе индуктивно-емкостными фильтрами, более высокие качественные показатели обеспечивает система с разделением каналов на входе и самостоятельными выходами на разные акустические системы. При этом удается устранить так называемые интермодуляционные искажения — искажения, обусловленные паразитной модуляцией высокочастотных составляющих сигнала низкочастотными.

Для оконечных НЧ каскадов мощностью до 10—12 *вт* радиолюбители в подавляющем большинстве случаев используют лампы типа 6П14П отчасти потому, что эти лампы довольно легко обеспечивают получение указанной мощности, но в основном потому, что других подходящих для этой цели ламп у нас, к сожалению, нет. Такую устаревшую, хотя и очень неплохую лампу, как 6П3С (6L6) в наше

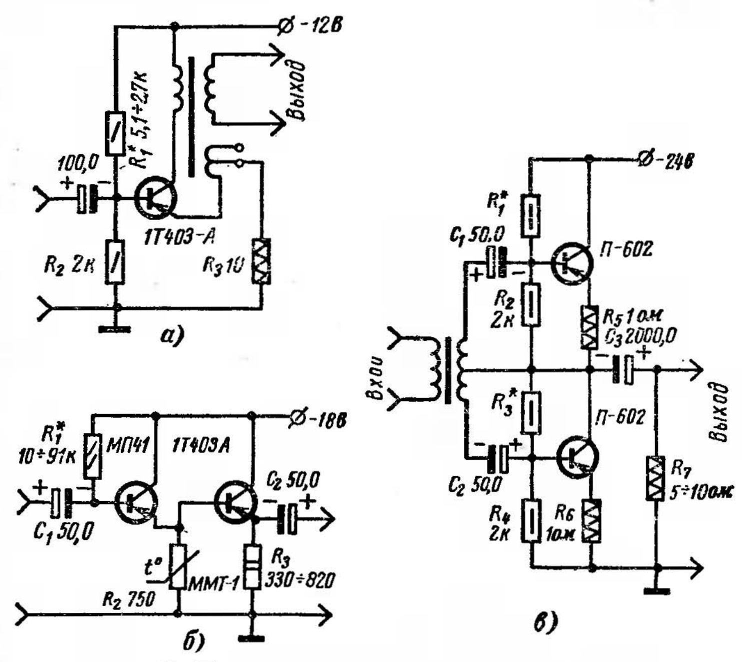


Рис. 29. Предоконечные каскады на транзисторах.

а — трансформаторный каскад с индуктивной линеаризирующей обратной связью; *б* — эмиттерный повторитель на транзисторе 1Т403А; *в* — «двухэтажная» двухтактная схема с трансформаторным входом и однотактным выходом.

время рекомендовать нельзя, а более мощных специальных ламп для оконечных каскадов УНЧ по типу немецкой EL-34 наша промышленность не выпускает.

Нередко пытаются путем форсирования режима получить большую мощность от тех же ламп 6П14П, однако такой путь совершенно недопустим из-за резкого ухудшения надежности усилителя и возрастания нелинейных искажений при появлении сеточного термотока.

Учитывая сказанное, мы рекомендуем радиолюбителям применять лампы 6П14П в любых двухтактных схемах только при мощностях, не превосходящих 10 *вт*. При большей выходной мощности надо переходить на такие явно не «низкочастотные» лампы, как 6П31С, 6П36С, 6П20С, ГУ-50, 6Н13С (6Н5С) как в классических

двухтактных и ультралинейных схемах, так и в менее знакомых радиолюбителям мостовых схемах, называемых также двухтактно-параллельными.

Первые три из указанных ламп предназначены для использования в оконечных каскадах строчной развертки телевизоров и позволяют снимать с двух ламп мощность не менее 25 *вт*, генераторная лампа ГУ-50 при анодном напряжении 500—750 *в* (а она по паспорту имеет $U_{\text{а.раб}} = 1\,000$ *в*) легко отдает в двухтактной схеме мощность

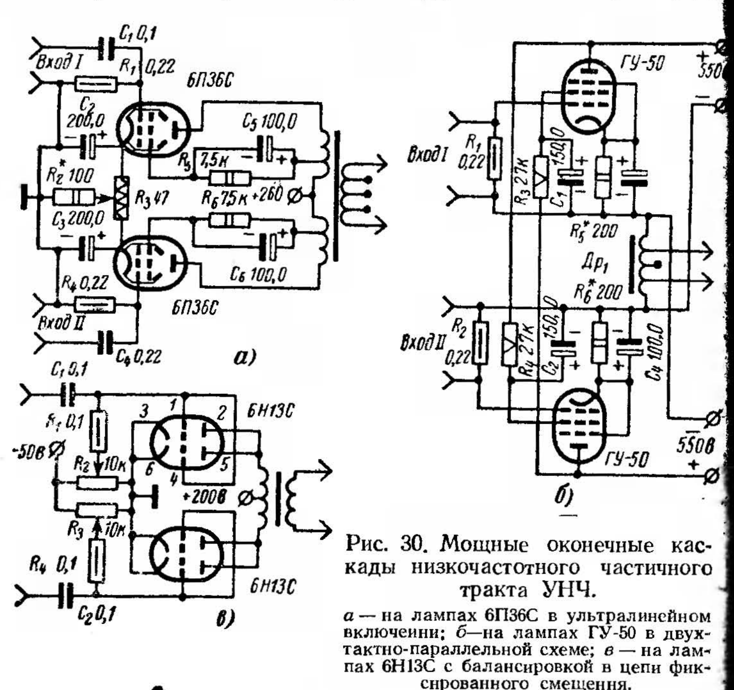


Рис. 30. Мощные оконечные каскады низкочастотного частичного тракта УНЧ.

а — на лампах 6П36С в ультралинейном включении; *б* — на лампах ГУ-50 в двухтактно-параллельной схеме; *в* — на лампах 6Н13С с балансировкой в цепи фиксированного смещения.

40—60 *вт*; двойной триод 6Н13С, сконструированный специально как управляющая лампа в схемах электронных стабилизаторов напряжения, имеет очень низкое внутреннее сопротивление и при сравнительно небольшом анодном напряжении позволяет получить в обычной двухтактной схеме мощность не менее 15 *вт* (на один баллон), а при включении в каждом плече по два триода параллельно (два баллона) в обычной двухтактной и в мостовой схемах обеспечивает выходную мощность 25—30 *вт*. Используя перечисленные лампы, радиолюбитель получает большой выбор для творческой деятельности. На рис. 30 приведены несколько схем оконечных каскадов с указанными лампами.

Поскольку все эти схемы мы рассматривали как низкочастотные, т. е. рассчитанные на ограниченную полосу пропускания (не свыше 5—8 *кгц*), ничего не говорилось о выходных трансформаторах, дросселях, и автотрансформаторах. Все они — самые обычные, собранные

на Ш-образных или ленточных сердечниках из простой трансформаторной стали толщиной 0,35 *мм*.

К конструкции каркаса и обмоткам не предъявляется повышенных требований, за исключением высокой степени симметрии отдельных половин первичной обмотки. Это требование особенно существенно для ультралинейных схем включения оконечных ламп. Величины индуктивности рассеяния и емкости первичной обмотки не существенны.

Вторичные обмотки при мощностях свыше 10 *вт* надо наматывать возможно более толстым проводом для уменьшения активных потерь. Желательно сделать несколько отводов, чтобы подобрать наилучший режим работы оконечного каскада. Подробнее мы рассмотрим этот вопрос в следующем параграфе.

Высокочастотные оконечные каскады двухканальных Hi-Fi усилителей существенно отличаются от низкочастотных, поэтому и рекомендации относительно них будут другими. Прежде всего это относится к типам ламп и транзисторов.

Поскольку мощность высокочастотных каналов даже в усилителях экстра-класса лежит в пределах 10—12 *вт*, наиболее подходящими будут лампы 6П14П и 6Н13С. Наилучшие схемы включения — двухтактная ультралинейная, мостовая на 6П14П в триодном включении и «двухэтажная» на 6Н13С.

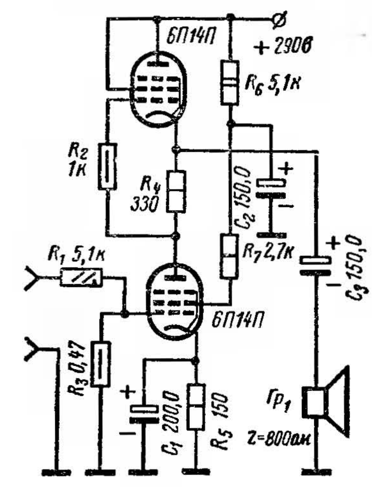


Рис. 31. Одна из наиболее распространенных схем оконечного каскада с последовательным включением ламп по постоянному току.

Относительно последней схемы, наиболее часто встречающийся вариант которой приведен на рис. 31, можно сказать, что хотя она и не нова в теоретическом смысле, однако массовое распространение в радиовещательной аппаратуре получила только в 1960—1965 гг. Как это нередко бывает, схема стала очень распространенной, причем, говоря о достоинствах схемы, обычно умалчивали о ее недостатках. Попробуем объективно оценить и те и другие.

Последовательное включение двух ламп по постоянному току равносильно тому, что по переменному току обе они относительно нагрузки включены параллельно, в силу чего их общее внутреннее сопротивление фактически вчетверо меньше, чем у обычного двухтактного каскада. Если для такой схемы взять лампы, внутреннее сопротивление которых ниже обычного, а в качестве нагрузки использовать сравнительно высокоомные громкоговорители, то оказывается, что выходной трансформатор по расчету имел бы в этом случае коэффициент трансформации, близкий к единице или, во всяком случае, измеряемый единицами.

Тогда оказывается возможным подключить нагрузку к лампам непосредственно, без выходного трансформатора. Это, разумеется, является безусловным достоинством схемы.

Однако за это достоинство приходится дорого расплачиваться. Прежде всего непосредственное включение нагрузки все-таки оказывается невозможным из-за наличия в точках ее включения половины напряжения источника питания (120—150 *в*). Поэтому громкоговорители приходится включать через разделительный конденсатор, емкость которого прямо связана с активным сопротивлением нагрузки и нижней границей полосы пропускания.

Действительно, если допустимая потеря напряжения полезного сигнала на разделительном конденсаторе составляет 10% от величины самого сигнала, то при $R_н=20$ *ом* и $f_{нижн}=40$ *гц* реактивное сопротивление конденсатора не должно превышать 2 *ом*, откуда его емкость будет равна:

$$C=\frac{1}{\omega Z_{e}}=\frac{1}{6{,}28\cdot 40\cdot 2}=\frac{1}{500}\,Ф=2\,000\ мкф.$$

Ясно, что такую емкость может иметь только электролитический конденсатор, но при этом нужно помнить, что его рабочее напряжение должно быть по крайней мере не ниже полного напряжения источника питания, т. е. 300—350 *в*. И тогда оказывается, что стоимость такого конденсатора ничуть не ниже стоимости выходного трансформатора, тем более, что трансформатор в отличие от конденсатора радиолюбитель в случае необходимости всегда может изготовить сам.

Конечно, можно изготовить громкоговоритель с сопротивлением звуковой катушки не 20, а 200 *ом*, что позволит при тех же условиях уменьшить емкость разделительного конденсатора до 200 *мкф*, однако в этом случае резко возрастает стоимость громкоговорителя.

Впрочем, это не единственный недостаток данной схемы. Второй состоит в том, что при последовательном включении ламп по постоянному току к каждой из них оказывается приложена только половина напряжения анодного источника, поэтому схема может хорошо работать только на специальных лампах, номинальное анодное напряжение которых не превышает 100—150 *в*. Однако большинство ламп подобного типа имеют незначительную максимальную отдаваемую мощность, редко превышающую единицы ватт.

Кроме того, исследования показали, что при использовании пентодов эта схема принципиально несколько асимметрична, что делает ее мало пригодной для оконечных НЧ каскадов Hi-Fi усилителей.

В высокочастотных каскадах первый недостаток сразу же отпадает, поскольку при выбранных в предыдущем расчете величинах и нижней границе ВЧ канала $f_{нижн}=2\,000$ *гц* величина емкости разделительного конденсатора становится равной

$$C_р=\frac{1}{6{,}28\cdot 2000\cdot 2}=\frac{1}{25\cdot 10^3}=4\cdot 10^{-2}\cdot 10^{-3}=40\ мкф,$$

причем в этом случае десятипроцентная потеря сигнала будет иметь место только в самой худшей, практически нерабочей части полосы пропускания, а на $f_{верх}=20$ *кгц* потери сигнала составят всего лишь 1%. Кроме того, требуемая выходная мощность для оконечного ВЧ каскада значительно меньше, чем для НЧ каскада, что позволяет использовать в этой схеме двойной триод 6Н13С, имеющий низкое внутреннее сопротивление и хорошо работающий при низких анодных напряжениях. Практическая схема такого каскада приведена на рис. 32.

Если мощность ВЧ канала не превышает 2—3 *вт*, можно собрать оконечный каскад по схеме рис. 33 на лампах типов 6Ф3П или 6Ф5П. Выходной трансформатор для этой схемы собирают на ленточном сердечнике при толщине ленты не более 0,2 *мм* либо на Ш-образном пермаллое. Для того, чтобы ультралинейная схема дала ощутимый результат и нелинейные искажения действительно были порядка 0,2—0,5%, точку отвода первичной обмотки нужно в каждом случае подбирать опытным путем непосредственно по результатам измерений к.н.и. в процессе налаживания усилителя. Для этого при намотке трансформатора у каждой половины первичной обмотки нужно предусмотреть по 4—6 отводов.

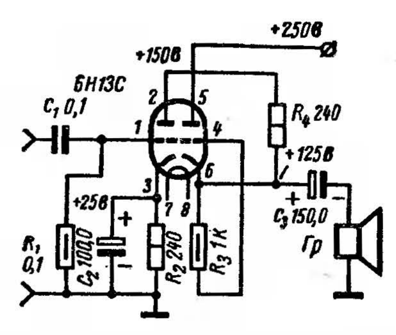


Рис. 32. Практическая схема «двухэтажного» оконечного каскада на двойном триоде 6Н13С (6Н5С).

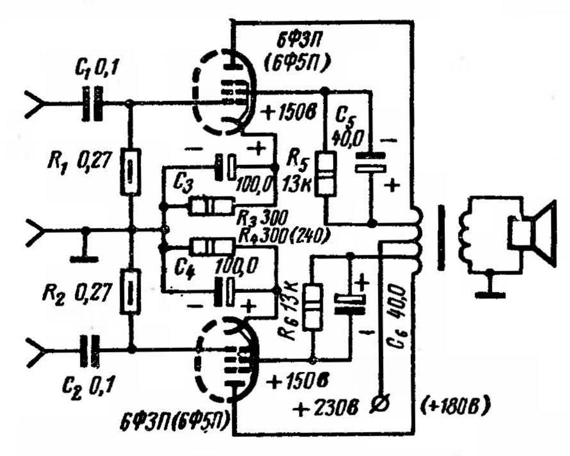


Рис. 33. Двухтактный высокочастотный оконечный каскад на лампах 6Ф3П или 6Ф5П ($P_{вых}=2{,}5$ *вт*).

Для транзисторных усилителей «двухэтажная» схема, напротив, оказывается предпочтительнее всех остальных. Это объясняется низкими величинами внутреннего сопротивления мощных транзисто-

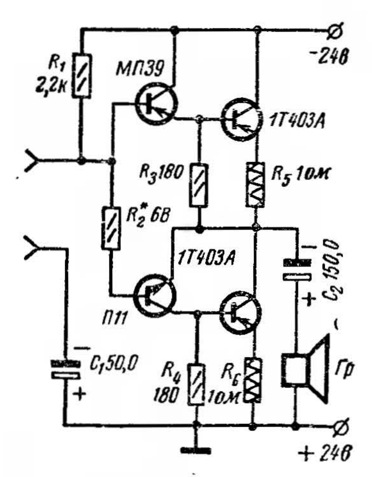


Рис. 34. «Двухэтажный» оконечный каскад на транзисторах типа 1Т403А ($P_{вых}$=2,0 *вт*).

ров и коллекторного напряжения (по сравнению с лампами). Поэтому обеспечивается отличное согласование каскада с нагрузкой даже при использовании обычных низкоомных громкоговорителей, например, типа ВГД.

Кроме того, разделительный конденсатор оказывается небольших размеров даже при емкости 2 000—5 000 *мкф*, поскольку его рабочее напряжение не превышает 20—30 *в*. Такие схемы широко распространены и радиолюбителям хорошо известны, поэтому мы ограничимся приведением на рис. 34 одной из них. Напомним только, что привычные для этих схем типы транзисторов П201—П203, П4, МП214—МП217 оказываются непригодны для оконечных каскадов

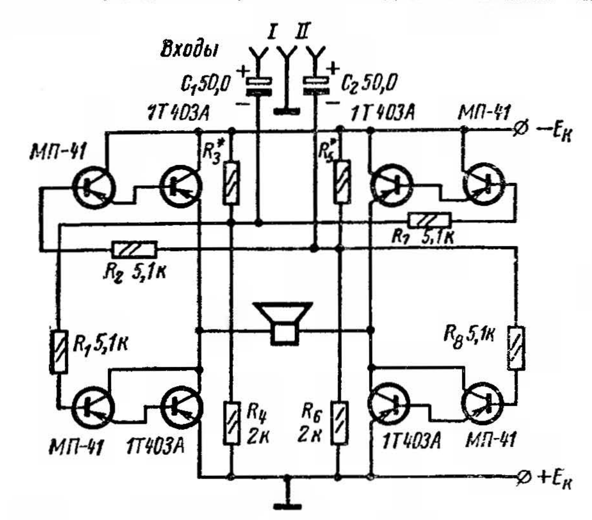


Рис. 35. Оконечный каскад по мостовой схеме на четырех транзисторах.

высокочастотных Hi-Fi усилителей из-за низкой граничной частоты усиления, поэтому мы рекомендуем при небольших мощностях использовать радиочастотные генераторные транзисторы типов П601—П603, П701—П702 и др.

Так же хорошие результаты обеспечивают и мостовые схемы на четырех транзисторах, одна из которых приведена на рис. 35.

17. ВЫХОДНЫЕ ЦЕПИ И РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ФИЛЬТРЫ

В обычных УНЧ среднего класса такого звена вообще нет. Громкоговоритель (или громкоговорители) подключается непосредственно ко вторичной обмотке единственного выходного трансформатора без

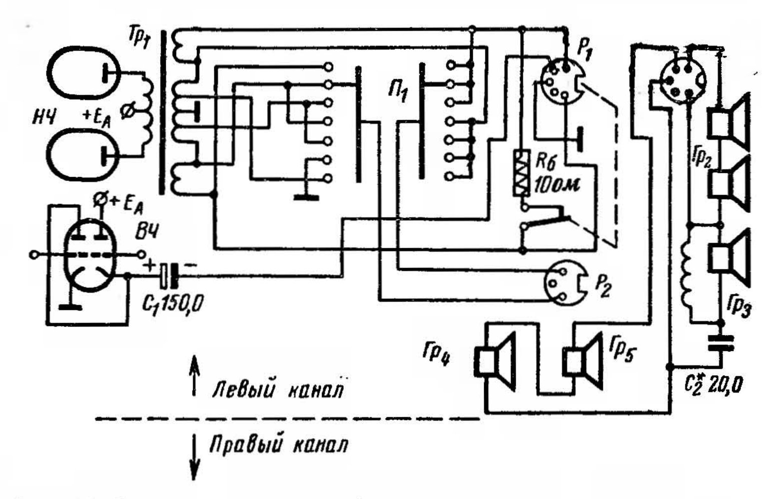


Рис. 36. Схема выходных цепей и коммутатора нагрузки простого стереофонического усилителя.

каких бы то ни было дополнительных деталей, не считая, разве, обычного штепсельного разъема.

В Hi-Fi усилителях выходные цепи нередко представляют собой развернутую систему коммутации сигнала с переключателями, разъемами, длинными цепями (5—15 *м*), а иногда и с набором переключаемых фильтров, корректирующих частотную характеристику электроакустического агрегата.

Помимо таких фильтров в состав выходных цепей входят еще и *LC*-фильтры для разделения сигнала между отдельными громкоговорителями или группами громкоговорителей. В многоканальных УНЧ выходные цепи оказываются еще сложнее.

Поскольку выходные цепи Hi-Fi усилителей могут быть исключительно разнообразны, рассмотрим на конкретном примере некоторые особенности этого участка тракта, общие для большинства усилителей. На рис. 36 показан сравнительно несложный выходной узел стереофонического усилителя, каждый из трактов которого разделен со входа на два частотных канала ВЧ и НЧ.

Трансформатор $Тр_1$ — выходной в НЧ канале. Его вторичная обмотка секционирована и позволяет с помощью переключателя нагрузки $П_1$ получать оптимальную связь УНЧ с акустическими агре-

гатами, у которых Z лежит в пределах от 2 до 12 *ом* через каждые 2 *ом*. Для подключения агрегатов предусмотрены разъемы P_2 и P'_2.

Основные акустические агрегаты, входящие в комплект УНЧ, присоединяются к усилителю с помощью четырехпроводного кабеля нужных длины и сечения через стандартный пятиконтактный разъем, принятый в качестве унифицированного в стереофонической аппаратуре бытового назначения.

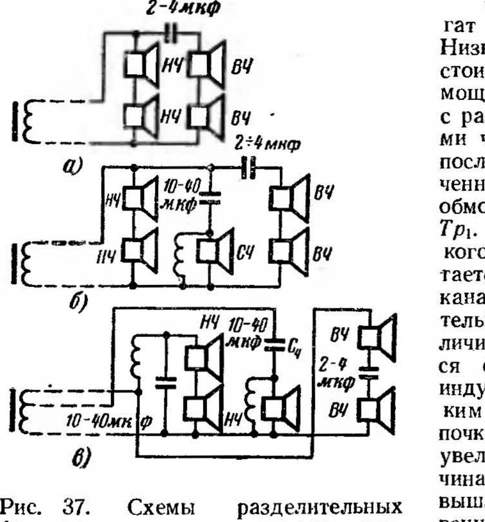


Рис. 37. Схемы разделительных фильтров для многоканальных акустических систем.

а — схема с отделением ВЧ канала; *б*—схема с отделением высоко- и среднечастотного каналов; *в* — схема с полным разделением на три самостоятельных канала.

Сам акустический агрегат является трехполосным. Низкочастотная группа состоит из двух однотипных мощных громкоговорителей с разнесенными резонансными частотами, соединенных последовательно и подключенных ко всей вторичной обмотке трансформатора Tp_1. Среднечастотный громкоговоритель $Гр_3$ также питается от низкочастотного канала, но через разделительный конденсатор C_2, величина которого подбирается совместно с величиной индуктивного шунта L_1 таким образом, чтобы LC-цепочка обеспечивала резкое увеличение затухания, начиная с частот, вдвое превышающих частоту собственного механического резонанса громкоговорителя $Гр_3$. Без этих мер частотная характеристика всего агрегата, снятая по звуковому давлению, будет иметь выброс на частоте резонанса $Гр_3$.

Высокочастотная группа, состоящая из двух последовательно включенных громкоговорителей $Гр_4$ и $Гр_5$, питается от отдельного ВЧ канала, оконечный бестрансформаторный каскад которого собран по «двухэтажной» схеме.

При выходной мощности УНЧ свыше 10 *вт* существенное значение приобретают сечение соединительных проводов и переходные сопротивления контактов переключателей и разъемов. Действительно, уже при $P_{вых} = 10$ *вт* и $Z = 2$ *ом* ток в соединительных проводах будет превышать 2 *а*, создавая заметные потери сигнала. Поэтому этот фактор нужно учитывать при конструировании мощных усилителей.

Схемы разделительных фильтров могут быть самыми разнообразными и содержать различные элементы, однако чаще всего они строятся на принципе фильтров нижних и верхних частот и резонансных контуров. Иногда применяются частотнозависимые делители напряжения и шунты, как в рассмотренном примере. Не вдаваясь в этот вопрос более глубоко, ограничимся приведением нескольких разных схем разделительных фильтров, встречающихся на практике (рис. 37).

18. РЕГУЛЯТОРЫ

Регуляторами называют устройства для изменения того или иного параметра или характеристики какого-либо блока, узла, прибора, установки. Процесс регулирования может осуществляться либо вручную оператором, либо автоматически по заранее заданной определенной программе; в соответствии с этим и регуляторы называются либо ручными, либо автоматическими.

Регулирование может быть как плавным, непрерывным, так и скачкообразным, ступенчатым, дискретным, поэтому к регуляторам должны быть отнесены и всевозможные переключатели электрических характеристик.

В УНЧ наиболее распространенными являются регулятор громкости, регуляторы тембра верхних и нижних частот, переключатели тембра типа «речь — музыка», а также многодиапазонные тон-регистры, о которых мы еще поговорим особо. В стереоусилителях имеется дополнительно регулятор стереобаланса.

Независимо от назначения и выполняемых функций все регуляторы характеризуются несколькими общими для всех них показателями. Главнейшим из них является диапазон регулировки, который в различной литературе имеет самые разные названия: пределы регулирования, коэффициент перекрытия, диапазон изменения величин и ряд других.

Параметр этот показывает, от какого минимального и до какого максимального значения изменяется регулируемая величина при вращении ручки регулятора (или нажатии кнопок, педалей и т. п.) от одного фиксированного крайнего положения до другого. Имеет смысл остановиться на этом параметре, так как для разных регуляторов в Hi-Fi усилителях пределы регулирования нужно выбирать по-разному.

Для регуляторов громкости желательно иметь диапазон регулирования порядка 60 *дб*, однако конструкция большинства обычных потенциометров не обеспечивает такого диапазона. Объясняется это наличием так называемого «нулевого скачка», т. е. скачкообразным переходом ползунка потенциометра с мастичной подковки на металлизированную часть дужки. В результате громкость при вращении оси регулятора вначале монотонно и плавно уменьшается, а затем в какой-то момент звук сразу исчезает.

Это не позволяет сделать громкость сколь угодно малой, причем, подчас минимально достижимая громкость оказывается слишком большой. Следующий простой пример иллюстрирует сказанное: пусть максимальная выходная мощность усилителя $P_{вых.макс} = 20$ *вт*, а регулятор громкости имеет диапазон регулирования 40 *дб*. Заметим, что на практике этот случай не редкий и многие потенциометры имеют еще меньший диапазон.

Тогда этот регулятор может позволить получить минимальное выходное напряжение в 100 раз меньше максимального, что соответствует уменьшению выходной мощности в 100^2 раз, т. е. в 10^4 раз. Значит, минимально достижимая громкость будет соответствовать выходной мощности 20 $вт : 10^4 = 2 \cdot 10^{-3}$ $вт = 2$ *мвт*. Напомним для сравнения, что максимальная неискаженная выходная мощность промышленного транзисторного приемника «Сюрприз» равна всего 50 *мвт*,

приемника «Космос» — 30 *мвт*, а таких сравнительно больших, как «Сокол», «Юпитер», «Сигнал», «Нейва» — 60 *мвт*.

Следовательно, для обеспечения плавного уменьшения громкости в Hi-Fi усилителях до исчезающе малых значений нужно выбирать тип и отбирать экземпляр потенциометра, имеющий диапазон регулировки не менее 60 *дб*.

Такой отбор можно производить многошкальным омметром, позволяющим уверенно отсчитывать единицы ом. Отбирают потенциометр с минимальным значением сопротивления скачка со стороны «нуля», т. е. при вращении оси против часовой стрелки.

Для регуляторов тембра, регулирующих характеристику на ±20 *дб*, вполне достаточно иметь у потенциометра диапазон регулирования 40 *дб*. Для регулятора стереобаланса диапазон в 40 *дб* оказывается излишним, поэтому в схемах обычно предусматривают ограничительные резисторы.

Следующий важнейший параметр любого регулятора — характер или кривая изменения регулируемой величины. Для потенциометров в бытовой радиовещательной аппаратуре приняты три типа (закона) изменения величины сопротивления при вращении оси: линейный, обозначаемый буквой «А», показательный (буква «Б» на корпусе) и обратный логарифмический (буква «В»).

Для регуляторов громкости применяют только потенциометры с обратным логарифмическим законом изменения сопротивления (кривая «В»), для регуляторов тембра — линейные и иногда (в специальных случаях) — логарифмические. В регуляторах стереобаланса применяют только линейные регуляторы (с буквой «А»).

Переменные конденсаторы выпускают обычно либо прямоемкостные (с линейным характером изменения емкости), либо прямочастотные. При выборе того или иного вида характеристики в каждом конкретном случае исходят из назначения регулятора.

Наконец, важно, чтобы сам регулирующий элемент не вносил нелинейных и частотных искажений, а также обладал уровнем собственных шумов по крайней мере на 10—20 *дб* ниже минимального уровня сигнала в точке включения регулятора.

К переменным конденсаторам предъявляются требования механической жесткости подвижной системы, исключающей появление микрофонного эффекта, и отсутствие искровых разрядов во время вращения оси. Последнее требование практически исключает возможность применения переменных конденсаторов с твердым диэлектриком в Hi-Fi усилителях.

Уяснив сказанное, перейдем к рассмотрению конкретных схем регуляторов, применяемых в УНЧ.

1. Регуляторы громкости. Главное отличие регуляторов громкости Hi-Fi усилителей от обычных состоит в повышенных требованиях к характеру тонкомпенсации. Мы уже договорились в гл. 1 ввести количественную характеристику этого параметра. Теперь посмотрим, какими способами можно обеспечить выполнение этих требований.

Для того чтобы регулирование громкости на слух не было частотно-зависимым, т. е. чтобы слушатель при регулировании громкости не ощущал одновременно и изменения тембра звука, нужно при изменении громкости автоматически и вполне определенным образом изменять частотную характеристику усилителя: при уменьшении громкости частотная характеристика на низших и высших частотах должна приобретать подъем относительно средних частот, притом

тем больший, чем меньше громкость. Это делается для того, чтобы скомпенсировать снижение чувствительности уха на низших и высших частотах при малой громкости.

Все схемы тонкомпенсации с использованием потенциометров с одним или несколькими отводами по своему принципу не позволяют получить требуемые характеристики, так как метод основан на том, что при уменьшении громкости происходит прогрессирующее ослабление составляющих высших частот, которое по мере вращения регулятора влево захватывает все более широкий участок спектра в сторону низких частот.

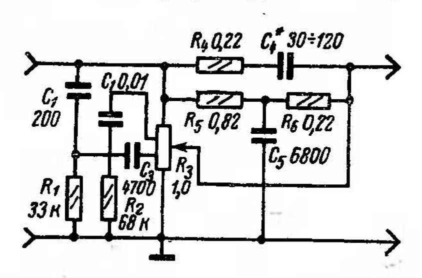


Рис. 38. Схема тонкомпенсированного регулятора громкости на одиночном потенциометре с неполным двойным Т-образным фильтром.

Добавление в схему всевозможных «закорачивающих» и «корректирующих» конденсаторов малой емкости не меняет положения, так как степень такого «закорачивания» постоянна и не меняется при вращении регулятора громкости, снижая в то же время общую эффективность тонкомпенсации.

Автором в свое время был предложен способ осуществления эффективной тонкомпенсации на обычных потенциометрах без отводов, дающий очень хорошее приближение к кривым равной громкости. Различные модификации таких схем применялись в течение ряда лет в различных УНЧ и вполне себя оправдали. Однако с годами росли и требования к характеру тонкомпенсации, в силу чего схемы также постоянно совершенствовались. На сегодня можно предложить радиолюбителям два варианта таких схем: рис. 38 для Hi-Fi усилителей «стандартного» класса и рис. 39 — для усилителей «экстра-класса».

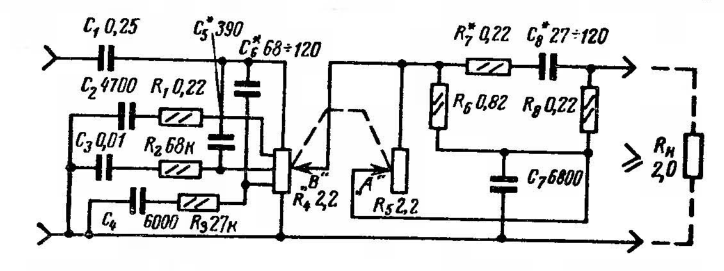


Рис. 39. Схема тонкомпенсированного регулятора громкости на сдвоенном потенциометре для усилителей «экстра-класса».

Обе они работают по принципу плавного введения в цепь прохождения НЧ сигнала в процессе уменьшения громкости неполного двойного Т-образного фильтра, частотная характеристика которого

формируется подбором входящих в него элементов для минимального уровня сигнала.

При указанных на схеме величинах элементов регуляторы в «чистом виде» (т. е. не в схеме усилителя) имеют частотные характеристики, приведенные на рис. 40.

Нужно отметить, что хотя обе схемы имеют отличные частотные характеристики (особенно вторая), включение их в конкретный усилитель со своими цепями отрицательной обратной связи неизбежно каким-то образом изменяет характер тонкомпенсации, причем

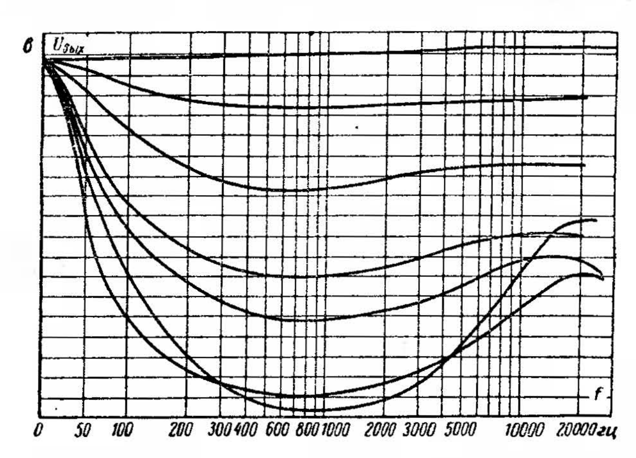


Рис. 40. Частотные характеристики тонкомпенсированного регулятора громкости, изготовленного по схеме рис. 39

это чаще всего приводит к некоторому недостатку в спектре воспроизведенного сигнала самых нижних частот (притом только на самых малых уровнях громкости). Поэтому автор предлагает непосредственно на ручке регулятора громкости установить обычный тумблер, работающий независимо от вращения оси, например путем нажатия на ручку регулятора, либо установить тумблер просто рядом с регулятором громкости. Электрически этот тумблер включает дополнительную большую емкость в цепь катода лампы 1-го каскада УНЧ, увеличивая относительное усиление на частотах 20—60 *гц* (рис. 41).

Заметим попутно, что во многих наиболее дорогих моделях зарубежных усилителей и электрофонов имеются устройства аналогичного назначения (фирмы «Dual», «Ampex» и др.), хотя схемно они обычно решены иначе.

Еще раз напоминаем, что независимо от сложности и характера схемы тонкомпенсации точка присоединения к корпусу (шасси) всех ее элементов должна быть только одна и причем только в том месте, где соединяются с корпусом резисторы утечки сетки и автоматического смещения входной лампы УНЧ.

Все элементы схемы тонкомпенсации должны быть тщательнейшим образом экранированы от электростатических и электромагнитных наводок.

2. Регуляторы тембра за последние годы достигли значительного совершенства, а схемы некоторых из них, например приведенная на рис. 42, стали уже «классическими». И все же, несмотря на хорошие характеристики регулирования и незначительное взаимное влияние, эти схемы не совсем пригодны для Hi-Fi усилителей. Главный недостаток всех распространенных схем — малая гибкость регулирования.

Не нужно путать этот термин с понятиями глубины и широты регулирования. Глубина регулирования показывает в цифрах, т. е. количественно, в каких пределах изменяется при регулировании

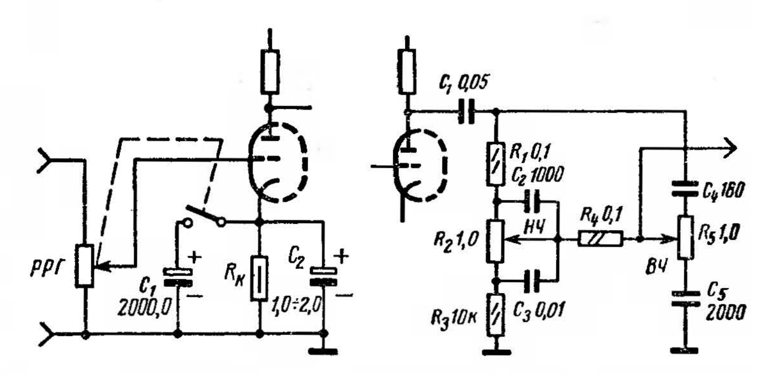


Рис. 41. Схема дополнительного устройства для подъема низших частот (20—60 *гц*) при регулировании громкости.

Рис. 42. Одна из наиболее часто употребляемых схем регулятора тембра с раздельным регулированием коэффициента передачи на высших и низших частотах.

уровень сигнала на граничных частотах, широта регулирования характеризуется диапазоном частот, захватываемых данной регулировкой, а гибкость регулирования характеризует возможность достаточно произвольного изменения формы частотной характеристики внутри регулируемого участка при той же глубине регулировки. На рис. 43 приведено семейство кривых «классического» регулятора тембра по схеме рис. 42, из рассмотрения которых видно, что в процессе регулирования меняется только угол наклона ветвей кривых, а характер изменения кривой все время остается одинаковым: либо монотонно убывающим, либо монотонно возрастающим от условной середины кривой к ее краям. Это приводит к тому, что слушатель не может произвольно подчеркнуть или ослабить какой-нибудь определенный участок спектра, что не позволяет получить верное воспроизведение в большинстве случаев.

Одной из «полумер», позволяющей в некоторой степени уменьшить указанный недостаток сравнительно простым способом, является предложенный автором метод использования для регуляторов тембра потенциометров с отводами, предназначенных для тонкомпенсированных регуляторов громкости. Схема включения этих потенциометров в «классический» двухдиапазонный регулятор тембра приведена на рис. 44, а семейство его частотных характеристик —

на рис. 45. Из сравнения этих характеристик с приведенными выше становится ясно, как изменяется характер регулирования после переделки схемы.

Однако, если такая измененная схема регулятора тембра еще может быть использована в усилителях «стандартного Hi-Fi класса», то для «экстра-усилителей» необходимо введение по меньшей мере четырех плавных регуляторов тембра на участках 20—100, 100—1 000 *гц*, 1—8 и 8—20 *кгц*.

Конечно, указанные границы весьма условны и требуют уточнения в процессе экспериментирования с высококачественными усилителями.

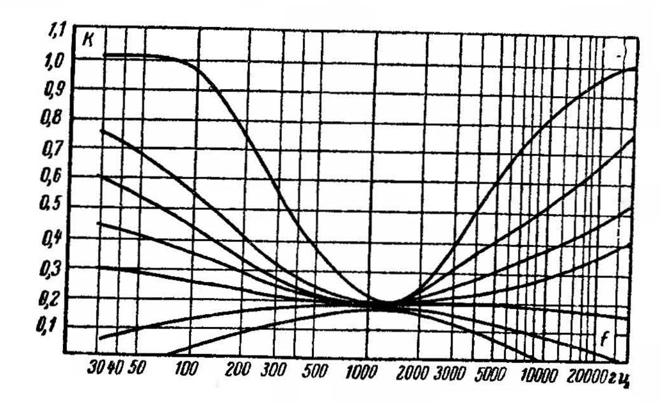


Рис. 43. Семейство частотных характеристик регулятора тембра, собранного по схеме рис. 42.

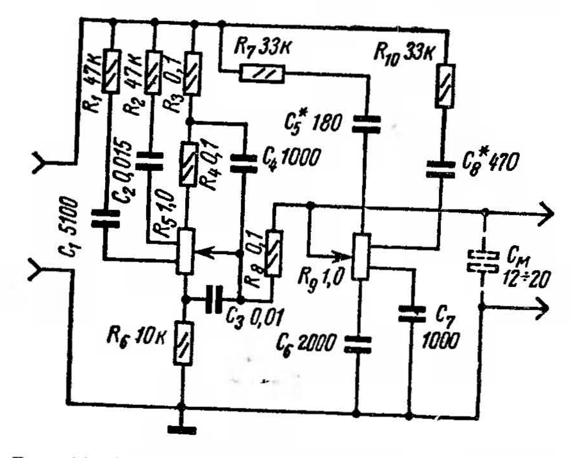


Рис. 44. Схема регуляторов тембра на потенциометрах с отводами.

При делении полосы частот на несколько участков не всегда целесообразно для всех участков применять одни и те же схемы регулирования. Правильнее для каждого участка использовать свои схемы, учитывающие специфику данного диапазона частот.

В частности, при наличии в схеме четырех отдельных участков с указанными выше граничными частотами автор предлагает для ре-

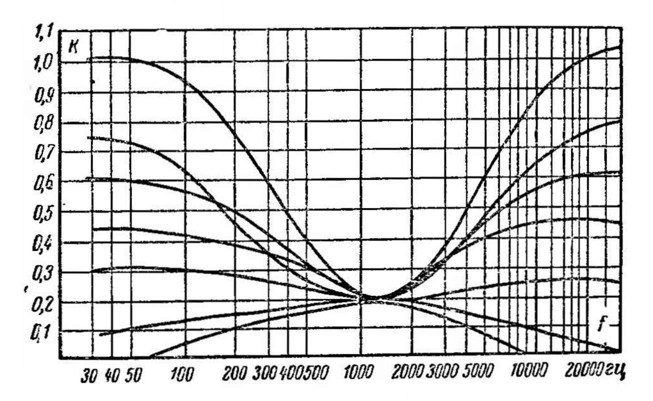


Рис. 45. Семейство частотных характеристик регулятора тембра, собранного по схеме рис. 44.

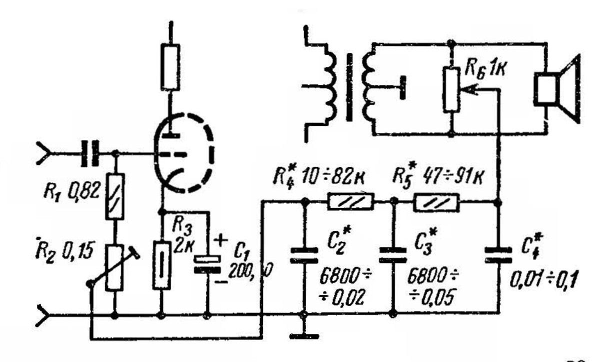


Рис. 46. Схема регулятора тембра для участка 20—100 *гц*.

гулировки во втором и третьем участках (т. е. на частотах от 100 до 8 000 *гц*) применять «классическую» схему на потенциометрах с дополнительными отводами, подобную приведенной на рис. 44. Для первого участка, т. е. на частотах, где нелинейные искажения на слух менее всего заметны, проще и лучше всего применить схему, приведенную на рис. 46.

Схема работает следующим образом: в среднем положении потенциометра R_6, являющегося регулятором тембра, напряжение звуко-

вой частоты на его движке по отношению к шасси равно нулю (при полной симметрии обеих половин вторичной обмотки выходного трансформатора), поэтому вся цепь регулирования тембра не оказывает на усилительный каскад никакого влияния.

Постоянная времени всей цепи C_2, R_4, C_3, R_5, C_4 выбирается настолько большой, чтобы на частотах свыше 100 *гц* прохождения сигнала в направлении, указанном на рис. 47 стрелкой, не было совсем.

На более низких частотах при вращении оси потенциометра R_6 на нижней части потенциометра R_2 будет появляться напряжение звуковой частоты, причем амплитуда его на всех частотах будет пропорциональна углу поворота регулятора. Однако для более низких частот абсолютная величина напряжения будет больше, чем для относительно более высоких частот.

Кроме того (и это главное!), при переходе регулятора через среднюю нулевую точку на всех частотах будет изменяться на обратную фаза напряжения.

А так как указанная цепь является цепью обратной связи, охватывающей весь усилитель, то в зависимости от положения движка регулятора относительно его среднего положения эта обратная связь будет либо положительной, либо отрицательной, соответственно увеличивающей или уменьшающей усиление на частотах ниже 100 *гц*.

Результаты экспериментов показывают, что при двухзвенном фильтре и подаче сигнала в цепь сетки первой лампы глубина регулировки и крутизна среза на верхней граничной частоте оказываются вполне достаточными, а к.н.и. на частоте 20 *гц* при максимальном подъеме характеристики не превышает 3,5% в УНЧ мощностью 20 *вт*, что вполне допустимо даже для Hi-Fi усилителей.

На частотах свыше 40 *гц* к.н.и. уже не превышает 2,0% при подъеме характеристики, а при спаде опускается до значений порядка 0,6% на всех частотах участка.

Правда, схема весьма критична к регулировке в процессе налаживания из-за опасности самовозбуждения на инфразвуковых (и даже на звуковых) частотах при положительной обратной связи. Однако при достаточно тщательной регулировке схема работает стабильно.

Главное достоинство схемы в том, что она не требует дополнительного усиления, так как в среднем положении движка регулятора тембра затухание, вносимое схемой, равно нулю. Потенциометр R_2, выведенный «под шлиц», служит для первоначальной регулировки величины обратной связи или, что то же самое, глубины регулировки тембра на нижней граничной частоте (20 *гц*). Все величины элементов фильтра нуждаются в подборе в процессе регулирования схемы.

Для регулирования тембра на четвертом участке, т. е. на частотах выше 8 *кгц*, рассмотренная схема не годится, так как увеличение к.н.и. более 1% на высших частотах в Hi-Fi усилителях недопустимо. Поэтому можно предложить две другие, сравнительно несложные схемы.

Первая из них (рис. 47, *а*) собрана на сдвоенном потенциометре, один из которых R_1 совместно с конденсатором C_1 регулирует величину отрицательной обратной связи по току на частотах свыше 8—10 *кгц*. Потенциометр R_2 входит в состав делителя выходного напряжения, причем благодаря наличию конденсатора C_3 малой емкости на частотах свыше 8—10 *кгц* этот делитель является частотнозависимым, так как напряжение на его выходе зависит от положения

движка потенциометра R_2, тогда как на более низких частотах выходное напряжение практически неизменно для всех частот при любых положениях движка потенциометра.

Потенциометры включают таким образом, чтобы оба движка перемещались вместе вверх или вниз (по схеме). Номиналы элементов на схеме указаны лишь ориентировочно, так как все равно при регулировке усилителя потребуется их подбор.

Другая схема (рис. 47, *б*) более интересна, хотя и несколько сложнее. В этой схеме нагрузкой эмиттерного повторителя является контур $L_1C_2C_3C_4$, настройка которого может меняться при вращении оси регулятора (переменный конденсатор C_2) в диапазоне от 8—10

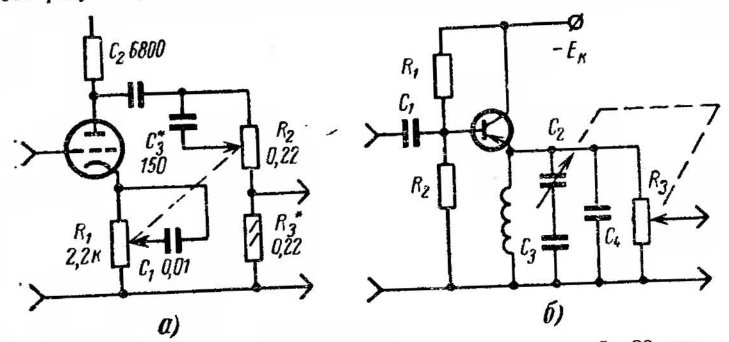


Рис. 47. Схема регуляторов тембра для участка 8—20 *кгц*.

а — на сдвоенном потенциометре; *б* — с перестраиваемым резонансным контуром.

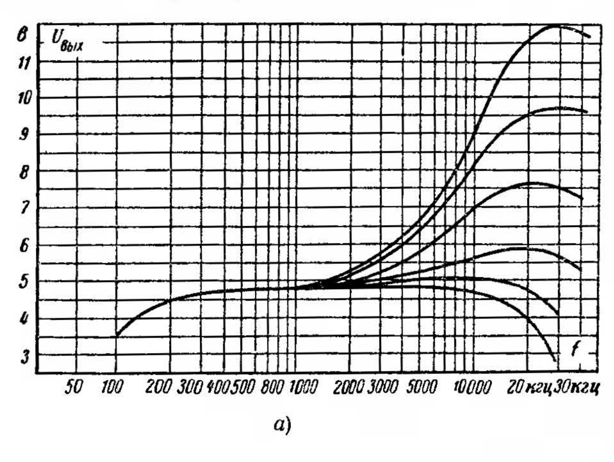
до 18—22 *кгц*. Точные границы этого диапазона и величины ограничительных конденсаторов C_3 и C_4 подбирают при регулировке усилителя.

Ось переменного конденсатора жестко соединена с осью потенциометра R_3, с движка которого снимается сформированный сигнал. Потенциометр должен быть обязательно типа «А» причем крайние его выводы включают в схему таким образом, чтобы уменьшению выходного сигнала соответствовала более низкая резонансная частота контура. Переменный конденсатор C_2 — обязательно прямочастотный. При правильной регулировке схемы и соответствующем подборе ее элементов характер изменения кривых регулирования будет таким, как изображено на рис. 48.

Из этих кривых видно, что вторая схема не только регулирует уровень высших частот, но и ощутимо меняет характер кривых, обеспечивая достаточно резкий спад выше граничной частоты. Это является основным достоинством схемы, окупающим ее относительную сложность.

3. Переключатели содержания и тон-регистры. К Hi-Fi усилителям предъявляются два совершенно исключающих друг друга требования в отношении регулировки тембра. С одной стороны, усилитель должен иметь как можно больше плавных регуляторов, позволяющих музыкально образованному слушателю отрегулировать частотную характеристику любым желаемым образом. С другой стороны, усилитель должен обеспечивать достаточно точное

звуковоспроизведение передач самых различных жанров при пользовании им слушателем без специального технического и музыкального образования. Это противоречие устранимо только единственным способом: введением в усилитель кнопочного переключателя тембра — так называемого тон-регистра.



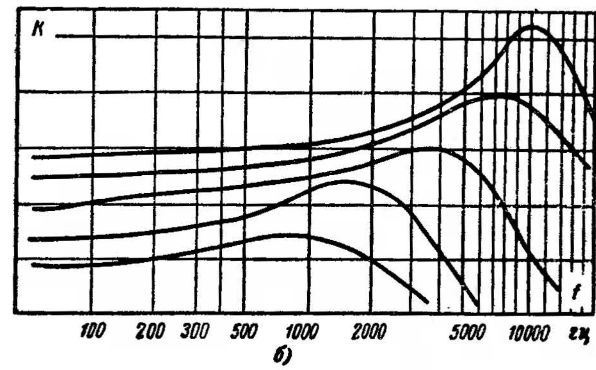


Рис. 48. Семейство частотных характеристик регуляторов тембра, собранных по схемам (рис. 48, *а* (*а*) и 48, *б* (*б*). Характеристики сняты в виде зависимости от частоты выходного напряжения при неизменном входном напряжении.

Тон-регистр представляет собой устройство, имеющее несколько кнопок для скачкообразного изменения тембра и 4—6 плавных регуляторов тембра. Одна из кнопок имеет надпись «тембр плавно», остальные имеют надписи, соответствующие определенным жанрам музыкальных передач (например, «Джаз», «Соло», «Симфония», «Речь» и т. п.).

При нажатии кнопки «тембр плавно» фиксированные частотоформирующие цепи отключаются, и слушатель получает возможность вручную отрегулировать частотную характеристику с помощью плавных регуляторов тембра. При нажатии любой другой кнопки регистра, напротив, отключенными оказываются все плавные регуляторы тембра, и независимо от их положения частотная характеристика становится фиксированной, должным образом соответствующей обозначенному на кнопке жанру передачи.

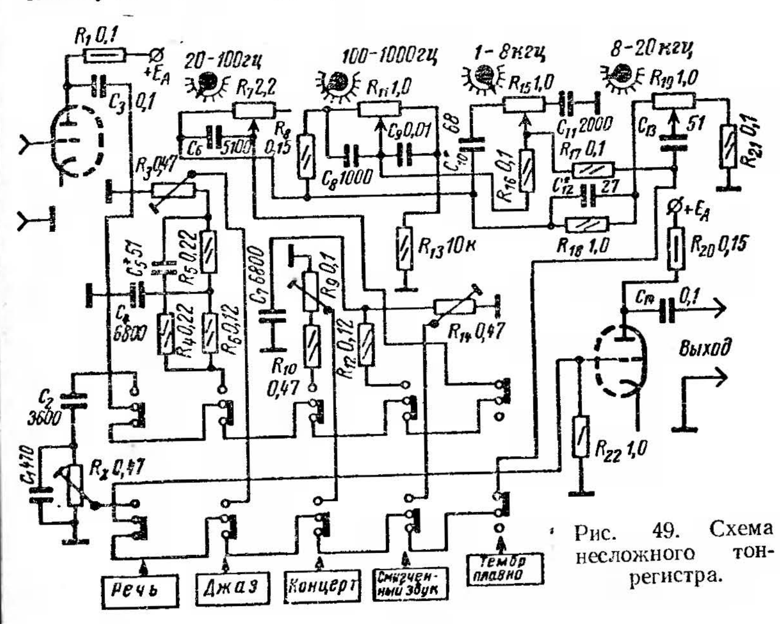


Рис. 49. Схема несложного тон-регистра.

Тон-регистры, таким образом, представляют собой наиболее удачное сочетание гибкости и простоты управления тембром звука.

Все тон-регистры представляют собой довольно сложные устройства, иной раз более сложные, чем вся остальная часть усилителя. Никаких полностью законченных схем тон-регистров для их точного копирования привести нельзя, так как в каждом конкретном усилителе имеются свои индивидуальные, неповторимые особенности, которые и определяют параметры и величины схемных элементов тон-регистра. Поэтому мы ограничимся приведением в качестве примера одной сравнительно простой схемы (рис. 49), которую опытные радиолюбители смогут повторить, помня при этом, что часть элементов схемы придется подбирать опытным путем в процессе налаживания усилителя.

4. Регуляторы стереобаланса (РСБ) являются самыми простыми регуляторами в Hi-Fi усилителях и по существу не требуют отдельного описания. Поэтому мы приведем лишь несколько наиболее распространенных схем регулирования (рис. 50) и укажем, что если регулятор включен в участок усилителя с большим уровнем

сигнала, например, перед предоконечным усилителем или фазоинвертором, то можно использовать схемы с общей «земляной» точкой. Если же регулятор включен на входе усилителя или в цепях, подверженных влиянию наводок и особенно блуждающих токов шасси, то лучше применять схему с двумя самостоятельными регуляторами на одной общей оси, и точки соединения с корпусом в этом случае разобщить, используя в каждом канале точку соединения с корпусом резистора утечки сетки лампы регулируемого канала. Еще раз напоминаем, что потенциометры для всех видов РСБ должны быть линейными, с буквой «А» на крышке корпуса.

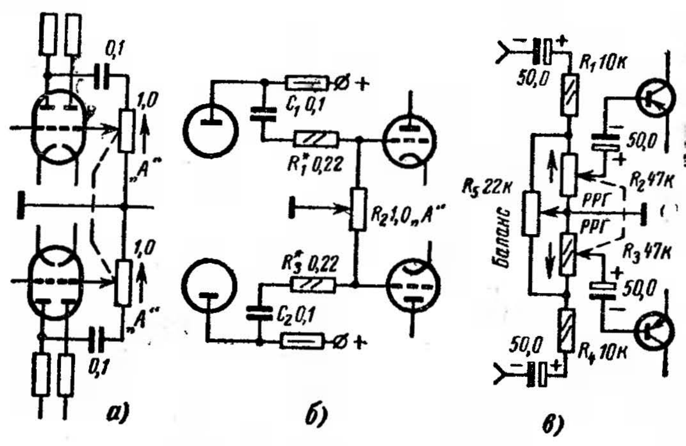


Рис. 50. Регуляторы стереобаланса.

а — на сдвоенном электрически разобщенном потенциометре в цепи сетки второго каскада; *б* — на общем одиночном потенциометре в цепи сетки предпоследнего каскада предварительного усиления; *в* — на транзисторах.

Полезным, хотя и не обязательным дополнением к регулятору стереобаланса является индикатор баланса, позволяющий точно отмечать положение РСБ, соответствующее одинаковому усилению каналов стереоусилителя. Существует немало методов и схем индикации. Мы рассмотрим несколько простых, но достаточно эффективных.

Левая часть рис. 51, *а*, общая для всех индикаторов, представляет собой выходы обоих каналов усилителя. С помощью кнопки *Кн* выходы подключают к индикатору со схемой сравнения. В схеме рис. 51, *б* напряжения со входов *А* и *Б* подаются в противофазе на половинки первичной обмотки, имеющие одинаковое число витков. Магнитные потоки полуобмоток при их полной идентичности и равенстве напряжений *А* и *Б* одинаковы и направлены навстречу. Поэтому общий магнитный поток равен нулю, напряжение на вторичной обмотке отсутствует, и «магический глаз» индикатора полностью закрыт. При разбалансе в любую сторону напряжение на вторичной обмотке будет пропорционально величине разбаланса и будет вызывать расширение затемненного сектора индикатора.

Схема на рис. 51, *в* работает по принципу фотометра, т. е. прибора, сравнивающего яркости двух источников света. Лампы накаливания (6,3 *в*, 0,28 *а*) помещены в непрозрачный футляр с перегородкой посредине. Одной из стенок футляра служит матовое или молочное светорассеивающее стекло. При разбалансе каналов отчетливо видна граница двух различных яркостей, при полном ба-

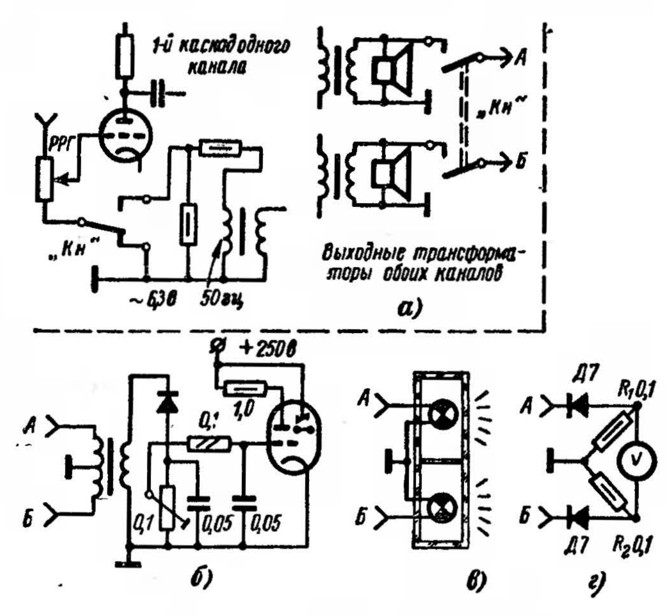


Рис. 51. Схемы индикаторов стереобаланса.

а — схема подачи контрольного сигнала и коммутации выходных цепей усилителей на измерительное устройство; *б* — индикатор на лампах 6Е3П и 6Е1П; *в* — индикатор-фотометр на лампочках подсветки шкалы; *г* — индикатор со стрелочным прибором.

лансе стекло светится равномерно. Яркость свечения ламп зависит от величины выходного напряжения усилителей и может изменяться регулятором громкости.

На рис. 51, *г* показана мостовая схема сравнения на диодах. Индикатором является стрелочный прибор, нуль которого находится посредине шкалы (можно использовать амперметр от любого автомобиля с шунтом).

Первая система может быть очень изящно оформлена конструктивно, особенно при использовании пальчиковых индикаторов типа 6Е3П или 6Е1П, позволяет в широких пределах регулировать чувствительность индикатора, однако с ее помощью нельзя определить направление разбаланса. Две другие схемы свободны от этого недостатка, но их труднее оформить достаточно красиво на лицевой панели усилителя.

Во всех случаях эталонным сигналом служит напряжение с ча-

стотой 50 *гц*, подаваемое с той накальной обмотки силового трансформатора, один из концов которой (или средняя точка) соединен с шасси. Это напряжение подается на входные гнезда усилителя через контакты кнопки *Кн*.

Существуют и другие системы индикации, например с использованием релаксационных генераторов на неоновых лампах, однако они не имеют каких-либо преимуществ перед описанными.

В заключение можно дать еще один практический совет: все потенциометры перед их установкой в Hi-Fi усилитель полезно смазать для предотвращения шорохов и тресков при вращении и увеличения срока службы. С этой целью нужно аккуратно снять защитную крышку и осторожно смазать всю подковку очень небольшим количеством чистого вазелина, а между осью и втулкой капнуть 1—2 капли любого жидкого минерального масла.

19. МНОГОПОЛОСНЫЕ УСИЛИТЕЛИ

Требования к усилителям, предназначенным для пропускания составляющих очень низких или очень высоких звуковых частот, противоречивы. Так, для удовлетворительного воспроизведения частот порядка 10—20 *гц* первичная обмотка выходного трансформатора должна иметь индуктивность порядка нескольких десятков генри, тогда как для удовлетворительного воспроизведения частот 18—25 *кгц* необходимо, чтобы собственная емкость первичной обмотки не превышала нескольких пикофарад, а индуктивность рассеяния составляла всего несколько процентов. Ясно, что сконструировать трансформатор, удовлетворяющий этим требованиям, чрезвычайно трудно, а при расширении полосы пропускания до 40—60 *кгц* почти невозможно.

Гораздо проще пойти на разделение всего спектра усиливаемых частот на несколько частотных поддиапазонов (участков) и для каждого из них построить самостоятельный усилитель с учетом специфики данного частотного поддиапазона.

Заметим, что именно так поступают в радиовещательных приемниках, разделяя весь принимаемый диапазон частот на отдельные участки (СВ, ДВ, КВ, УКВ). Коэффициент перекрытия хорошего современного радиоприемника от нижней границы длинноволнового диапазона (150 *кгц*) до верхней границы коротковолнового диапазона (15 *Мгц*) составляет по частоте всего 100 раз, тогда как средний Hi-Fi УНЧ с полосой пропускания 20—20 000 *гц* имеет коэффициент перекрытия в 10 раз больше, причем допустимая неравномерность по усилению в этом диапазоне составляет всего лишь 1—3 *дб*, т. е. гораздо меньше, чем для приемника высшего класса.

При современном состоянии аппаратуры Hi-Fi вполне достаточно разделение общего спектра на две полосы с условной границей в районе от 3 до 8 *кгц*. Такое разделение целесообразно еще и потому, что подавляющее большинство мощных низкочастотных громкоговорителей достаточно хорошо воспроизводят звуковой сигнал с частотами до 6—8 *кгц*, тогда как специальные высокочастотные излучатели (неуважительно именуемые у радиолюбителей «пищалками») обычно рассчитаны на воспроизведение составляющих сигнала с частотами от 6—8 до 18—25 *кгц*.

Мы уже немного касались особенностей НЧ и ВЧ оконечных каскадов. Укажем теперь на некоторые отличия НЧ усилителей от ВЧ усилителей в целом.

Прежде всего, для НЧ усилителей вполне допустимо и даже желательно искусственно ограничить верхнюю границу полосы пропускания значением 6—8 *кгц* путем сознательного увеличения входных и выходных емкостей каскадов предварительного усиления, применением фильтров и частотно-зависимых цепей отрицательной обратной связи. Эти меры значительно снижают восприимчивость усилителя к паразитным наводкам высших звуковых и ультразвуковых частот, сводя к минимуму возможность самовозбуждения усилителя.

Во-вторых, резко снижаются требования к выходному трансформатору, что позволяет значительно упростить его изготовление и снизить стоимость. Наконец, намного упрощаются цепи разделения частот в регуляторах тембра и облегчается процесс регулировки.

В высокочастотном усилителе появляется возможность широко использовать высокоэффективные сердечники из пермаллоя и феррита, применять *LC*-фильтры и резонансные системы, которые на низких частотах были бы недопустимо громоздкими.

Кроме того, в ряде случаев оказывается полезным заменять в регуляторах переменные сопротивления переменными конденсаторами и даже трансформаторами с переменной связью, обладающими при правильном конструировании большим диапазоном регулирования, чем обычные потенциометры.

Блок-схемы и число каскадов обоих усилителей остаются одинаковыми, хотя коэффициенты усиления их будут разными. Это объясняется различием в выходной мощности каналов, создающих на слух впечатление одинаковой громкости. Для того чтобы при регулировке усилителя можно было правильно установить необходимое соотношение мощностей, в одном из полосных усилителей (обычно высокочастотном) делают заведомо большее усиление и вводят помимо обычного регулятора громкости специальный установочный регулятор уровня, либо включают между каналами объединенный одной ручкой регулятор баланса по типу регулятора стереобаланса.

Относительно места разделения полос нельзя дать единственно правильный совет, однако можно смело рекомендовать делать такое разделение не ближе второго каскада, так как при этом значительно упрощается регулировка громкости (она остается общей для обоих каналов) и по крайней мере на порядок снижается уровень наводок на цепи разделения.

Довольно часто предварительный усилитель делают общим до цепей регулировки тембра, а дальнейшее усиление ведут в двух различных усилителях — высокочастотном и низкочастотном. Не следует забывать, что усилители с разделением сигнала на выходе (т. е. в цепях вторичной обмотки выходного трансформатора) и усилители с последовательно включенными двумя выходными трансформаторами являются обычными однополосными, поэтому мы не будем здесь о них говорить.

Разделение спектра на три и более полос совершенно нецелесообразно и бесполезно, так как не дает никакого выигрыша по сравнению с двухполосной системой, тогда как в акустических агрегатах такое разделение, как мы увидим дальше, оправдано.

В заключение можно отметить, что двухполосные усилители значительно сложней и дороже однополосных, поэтому строить их имеет смысл пока только для систем «экстра-класса», тем более, что параметры, удовлетворяющие требованиям на усилители «стандартного Hi-Fi класса», довольно легко можно получить в однополосном усилителе.

Что касается стереофонических систем, то еще не накоплен практический опыт по использованию двухполосных усилителей в каждом из стереотрактов, достаточный для определенных выводов, а тем более рекомендаций, поэтому мы призываем радиолюбителей к экспериментам в этой области. Для начала, вероятно, имеет смысл каждый из стереотрактов выполнить как обычный двухполосный монофонический усилитель, а оптимальное соотношение мощностей между ними, количество локализованных источников звука, взаимное расположение громкоговорителей в помещении определить практически. Большую помощь в этом сможет оказать метод субъективных испытаний, описанный в § 5.

20. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ Hi-Fi УСИЛИТЕЛЕЙ

Поскольку любой Hi-Fi усилитель по всем параметрам должен быть лучше обычного, то можно утверждать, что то же распространяется и на его конструкцию. Иными словами, все без исключения правила конструирования обычных усилителей, хорошо известные опытным радиолюбителям, распространяются и на Hi-Fi усилители. Однако кроме этих общих правил при постройке Hi-Fi усилителей нужно знать и некоторые другие, присущие только им. Вот об этих особенностях мы и поговорим.

Прежде всего Hi-Fi усилители отличаются от обычных наличием трех явно выделяющихся самостоятельных узлов: входных цепей, блока регулировок тембра и выходных цепей.

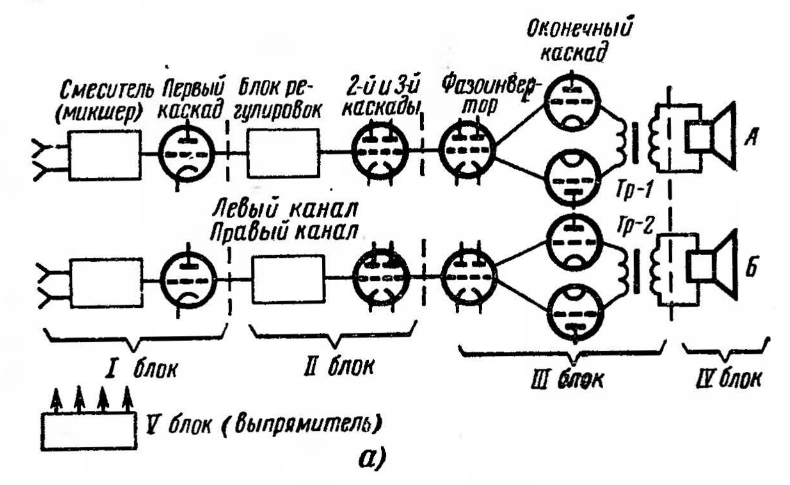
В лучших моделях усилителей входные цепи представляют собой законченный смесительно-регулировочный блок. Конструктивно его целесообразно совместить с первым каскадом усиления напряжения. Блок регулировки тембра также лучше делать полностью законченным, особенно если он представляет собой тон-регистр. Таким образом, напрашивается блочная конструкция всего усилителя, примерный вариант которой приведен на рис. 52.

Здесь каждый из блоков представляет собой самостоятельный отсек с закрытым поддоном, монтаж которого полностью экранирован от воздействия внешних полей. Все междублочные соединения осуществлены экранированными шлангами. «Земляные» цепи всех блоков изолированы от шасси-экранов и соединяются между собой самостоятельными проводами. Сами экраны между собой не соединены, но каждый из них толстой шиной (обычно для этого используется экранирующая оплетка без внутреннего провода) соединяется с минусовым зажимом источника анодного напряжения.

Совершенно недопустимо использование шасси в качестве одного из проводов накала. Накал всех ламп должен быть осуществлен по двухпроводной системе, причем оба провода нужно свивать вместе и вести их с наружной стороны шасси, пропуская в отверстия только непосредственно возле панельки соответствующей лампы.

Все трансформаторы, включая силовые и выходные, а также и дроссели фильтра, желательно делать на ленточных или тороидальных сердечниках, имеющих значительно меньшие поля рассеяния, чем Ш-образные. Трансформаторы во входных и частотоформирующих цепях обязательно должны быть помещены в глухие стальные экраны, провода из которых нужно выводить в металлической оплетке.

Полезно все разделительные конденсаторы и конденсаторы в частотоформирующих цепях первого, второго и микрофонного каскадов статически экранировать. Если эти конденсаторы в металлическом стаканчике (например, типов в БГМ-Т, БГМ-Ш, МБМ и им подобные), то их корпус следует соединить проводником с шасси или закрепить их скобой непосредственно на шасси, так как будучи «подвешенным» в воздухе такой конденсатор является источником электрического поля звуковой частоты и в свою очередь подвержен различным наводкам. Конденсаторы других типов в пластмассовом кор-



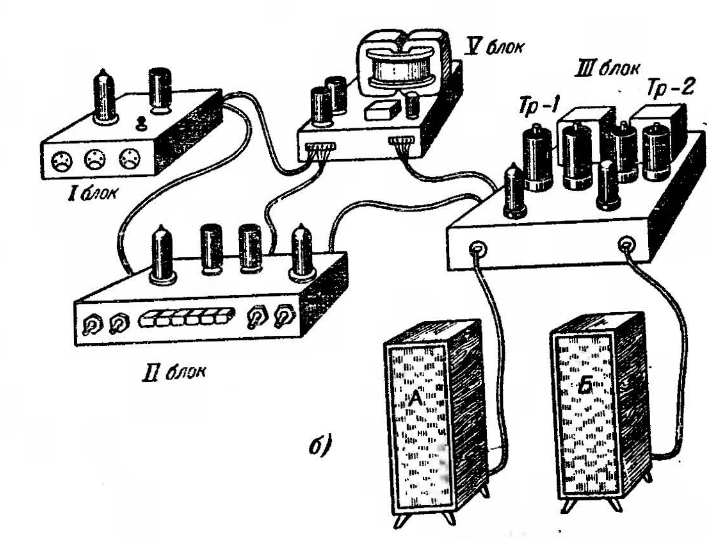


Рис. 52. Конструктивная скелетная схема Hi-Fi усилителя (*а*) и возможный вариант конструкции этого усилителя (*б*).

пусе можно обернуть полоской станиоли или любой фольги (хотя бы оберткой от шоколадных конфет), которые соединяют с шасси таким же образом. Также обязательно соединяют с шасси крышки всех потенциометров и сердечники всех трансформаторов и дросселей.

В выносных пультах управления и во всех случаях, когда регуляторы крепят не непосредственно к шасси, нужно обеспечить надежное соединение осей всех регуляторов с шасси, так как обычно они электрически не соединены ни с токонесущими выводами, ни с их корпусами.

При блочной конструкции усилителей (и вообще всего Hi-Fi комплекса аппаратуры) всегда возникает необходимость междублочных соединений. Если такие соединения выполняются на разъемах, мы настоятельно рекомендуем каждому радиолюбителю ввести для самого себя некоторое подобие стандарта. Допустим, применять для соединений не случайно подвернувшиеся под руку разъемы, а вполне определенного типа (или несколько конкретных типов), например, восьмиштырьковую октальную панельку и ламповый цоколь, расписав раз и навсегда определенные цепи за определенными номерами штырьков (скажем, плюс анодного источника — к первому штырьку, минус — к восьмому и т. д.). Такая система позволит, во-первых, очень легко и просто присоединять отдельные блоки к источникам питания и измерительным приборам, а во-вторых, неизмеримо облегчит и ускорит регулировку, проверку и ремонт усилителя. А надо не забывать, что хороший 8—10-ламповый усилитель обычно сложнее среднего радиоприемника.

Заканчивая главу об усилителях НЧ, добавим несколько слов об измерениях и измерительной аппаратуре, применяемой в низкочастотной технике.

Прежде всего, обратим внимание на то, что далеко не все типы приборов, которыми пользуется огромное большинство радиолюбителей, пригодны для измерений и регулировки Hi-Fi усилителей. В первую очередь это относится к звуковым генераторам.

Дело в том, что для достоверных измерений нужно, чтобы погрешность измерительной аппаратуры была по крайней мере на порядок ниже, чем измеряемая величина. А это значит, в частности, что если к.н.и. УНЧ порядка 0,5—1,0%, а уровень фона — 60 *дб*, то звуковой генератор должен иметь к.н.и. порядка 0,05—0,1% и относительный уровень фона — 80 *дб*. Заметим, что такие показатели имеют далеко не все промышленные генераторы. Что же касается самодельных любительских генераторов, то у них к.н.и. редко бывает ниже 1,0—2,0%. Поэтому такие генераторы вообще не пригодны для измерений в Hi-Fi усилителях.

То же самое можно сказать и о таких широко распространенных милливольтметрах, как ЛВ-9, МВЛ-2. Их частотные характеристики на частотах свыше 10 *кгц* имеют разброс и неравномерность, доходящие до 15—25%, что совершенно исключает достоверное снятие с их помощью частотных характеристик.

Мы совсем не хотим напугать радиолюбителей такими сведениями, но настойчиво советуем перед началом любых измерений в Hi-Fi аппаратуре совершенно точно установить истинные значения всех параметров используемой измерительной аппаратуры путем ее сравнения с некоторой эталонной и в случае необходимости составить поправочные или градуировочные таблицы и графики, позволяющие при измерениях учесть погрешность используемых приборов. Без этого многие измерения вообще теряют смысл.

Глава четвертая

АКУСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

21. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Излучатели звука (громкоговорители) являются едва ли не самым ответственным звеном Hi-Fi тракта, так как в конечном счете именно от параметров акустической системы и ее качества зависит качество звучания установки. Очень важно также и то соображение, что излученный громкоговорителем звук практически уже нельзя исправить никакими корректирующими системами, как мы делали это с электрическим сигналом в усилителях. Отсюда становятся понятными и особо жесткие требования, предъявляемые к Hi-Fi акустическим системам.

В следующем параграфе мы подробно рассмотрим этот вопрос, а сейчас попробуем коротко проследить эволюцию акустических систем от момента их возникновения, так как без этого трудно понять, как и почему на разных этапах развития радиовещания менялись требования к звуковоспроизводящим устройствам.

Исторически первым электроакустическим преобразователем был электромагнитный телефон с жесткой металлической мембраной в качестве излучателя. Поскольку единственным источником электрического низкочастотного сигнала в то время являлся угольный микрофон с полосой пропускания 300—2 000 *гц*, никаких требований естественности воспроизводимого звука к телефону, разумеется, не предъявлялось, так же как никому не приходило в голову измерять коэффициент нелинейных искажений, звуковое давление или неравномерность частотной характеристики.

Единственным требованием к низкочастотной части радиоаппаратуры того времени была громкость звука, поэтому все усилия специалистов были сконцентрированы в этом направлении

В результате вскоре появились громкоговорящие устройства, в которых увеличение громкости достигалось только путем увеличения площади излучателя. Радиолюбители старшего поколения помнят громкоговорители типа «Фарранд» и «Рекорд» (полоса пропускания 200 — 4 000 *гц* при неравномерности порядка 20 *дб*, максимальная выходная мощность 100 *мвт*, к.н.и. 10—15%), продержавшиеся в обращении вплоть до 40-х годов

Однако когда радиоаппаратура стала «громкоговорящей», начали обращать внимание и на другие характеристики звука. На повестку дня стал вопрос расширения частотного диапазона. Так как тракты радиовещания и появившиеся к тому времени шеллачные грампластинки имели полосу частот порядка 100—5 000 *гц*, такие же требования были предъявлены и к громкоговорителям.

Вскоре был создан электродинамический конусный громкоговоритель с подмагничиванием постоянным током. Эти громкоговорители («динамики», как их в то время называли в отличие от электромагнитных) обеспечивали нужную полосу частот при удовлетворительной неравномерности частотной характеристики и имели электрическую мощность порядка 2 — 5 *вт*. У «динамиков» для киноаппаратуры мощность достигала 15—25 *вт*.

Так как эти параметры превосходили параметры остальных звеньев тракта, дальнейшее развитие громкоговорителей на какое-то время приостановилось. Правда, за это время появились сплавы с вы-

сокой магнитной проницаемостью, позволившие заменить катушку подмагничивания постоянным магнитом.

Следующим этапом совершенствования громкоговорителей было расширение полосы частот в сторону низших частот, объясиявшееся тем, что многие радиовещательные станции выпускали программы с частотным диапазоном от 50 *гц* до 5 *кгц*. Поэтому появились громкоговорители с резонансными частотами 60, 40 и даже 25 *гц*.

Не углубляясь дальше в историю, обратим внимание на то, что при всех модернизациях громкоговорителей для радиовещания никогда и нигде не возникал вопрос о количестве и расположении громкоговорителей. Считалось совершенно естественным и само собой разумеющимся, что в приемнике должен быть один громкоговоритель, расположенный фронтально на передней панели самого приемника. И опять-таки это объяснялось тем, что качество радиовещательного тракта в целом было еще настолько низким, что к нему даже и не пытались предъявлять требование достоверности звуковоспроизведения.

Следующим, поистине революционным этапом в радиовещании, с которым по существу впервые возник термин «высококачественное звуковоспроизведение», явился переход некоторых радиостанций на частотную модуляцию в УКВ диапазоне. Этот переход сразу же, скачком расширил частотный диапазон тракта до полосы 40—12 000 *гц*. Почти в то же время были разработаны и выпущены в продажу бесшеллачные «долгоиграющие» грампластинки с такой же и даже еще более широкой полосой частот. Все это вместе взятое, включая появление хороших пьезоэлектрических звукоснимателей, снова сделало громкоговорители одним из «слабых» звеньев тракта

Правда, улучшением конструкции, применением более совершенных материалов, изменением технологии удалось сравнительно быстро «довести» громкоговорители до такого же уровня, однако в процессе этих работ и в результате серьезных научных и опытно-конструкторских исследований было установлено, что параметры лучших образцов громкоговорителей (полоса частот 60—12 000 *гц*, $P_{вых}$ =4—6 *вт*, к.и.и. порядка 4—6%) являются почти предельными, и что дальнейшее расширение полосы частот требует принципиально иных решений.

Одним из таких решений оказалось построение акустических систем из нескольких громкоговорителей с различными параметрами. Вначале это были системы из двух громкоговорителей — одного «основного», низкочастотного с полосой 40—6 000 *гц* и мощностью 8—15 *вт* и другого высокочастотного с диапазоном от 4—6 до 12—15 *кгц* и мощностью 2—4 *вт*. Такие системы, правильно сконструированные, обеспечивали хорошее воспроизведение звука.

Однако, как это нередко случается, вскоре стало очень «модным» увеличивать количество громкоговорителей в приемниках. Возможно, что на Западе в это был заложен рекламный смысл. Тем не менее и некоторые наши радиолюбители стали изготовлять «агрегаты» с 8, 12 и более громкоговорителями. Автору этой книги довелось видеть «высококачественную» любительскую НЧ установку, содержащую 21 различный громкоговоритель, но ее качество отнюдь не соответствовало такому количеству громкоговорителей.

Для того чтобы технически грамотно подойти к решению этого вопроса, нужно ясно представлять себе, что требуется от каждого громкоговорителя и всей акустической системы в целом и что дает

добавление в систему дополнительного громкоговорителя. Поскольку вопрос этот очень важный, мы посвятим его рассмотрению отдельный параграф.

Мы бегло проследили путь эволюции акустических систем и можем констатировать, что родоначальник этих систем — обычный телефонный капсюль — совершенно исчез из поля нашего зрения после появления электродинамических громкоговорителей. Действительно, кажется странным, что при наличии мощных широкополосных акустических агрегатов мы почему то вновь вспомнили о скромном телефонном «наушнике».

Однако в природе и в технике не бывает предметов, обладающих только достоинствами либо только недостатками. Дело в том, что по мере дальнейшего совершенствования акустических систем и еще большего повышения требований к ним стали очевиднее и некоторые их недостатки. Чтобы понять, в чем здесь дело, нужно вспомнить, что главная задача систем высококачественного звуковоспроизведения — это субъективно точная передача звуковой картины, которая воспринимается слушателем, находящимся в концертном зале или зале театра. Обратите на это особое внимание: нас интересует именно та картина, которую воспринимает слушатель в зале, а не та, которую в действительности создает оркестр или исполнитель. В этой казалось бы не очень существенной разнице кроется глубокое содержание.

В самом деле, мощные ударные инструменты (например, литавры) имеют пиковую мощность, измеряемую десятками ватт и создают в непосредственной близости от них звуковое давление, измеряемое десятками бар. Каждый, кто хоть раз находился в оркестровой яме или на сцене при выступлении большого симфонического оркестра, знает, что в непосредственной близости от него теряется всякое эстетическое впечатление от музыкального произведения и остается чисто шумовое восприятие больших мощностей, вплоть до болевых ощущений.

Иное дело — восприятие звуковой картины в зале. При проектировании и строительстве концертных и театральных залов акустические параметры зала (время реверберации, характер первых отражений, степень диффузности и т. п.) выбираются такими, чтобы обеспечить наилучшую с чисто субъективной точки зрения слышимость, которую мы условно принимаем и считаем за исходное, безукоризненное, естественное звучание. Итак, казалось бы существуют условия оптимального слушания музыкальной программы.

На самом же деле понятие это явно относительное, потому что музыкальное произведение, исполняемое тем же оркестром с теми же исполнителями и дирижером в другом помещении, будет восприниматься совершенно иначе, а на открытом воздухе звучание вообще не будет иметь ничего общего со звучанием в концертном зале. Это говорит о том, что понятие «естественное звучание» — очень относительное.

Существует два пути для воссоздания звучания с помощью усилительной и звуковоспроизводящей аппаратуры.

Первый путь — это применение громкоговорителей или акустических громкоговорящих агрегатов, озвучающих сразу все помещение. Второй путь — воссоздание непосредственно около уха одиночного, отдельно взятого слушателя звуковой картины, наблюдаемой в концертном зале или студии. Этот путь ведет к применению головных телефонов.

Как это ни парадоксально на первый взгляд, применение головных телефонов принципиально может обеспечить более высокую верность воспроизведения, чем самая совершенная система озвучания всего помещения. Объясняется это тем, что система с головными телефонами (СГТ) имеет по сравнению с громкоговорящими системами (назовем их условно системами открытого звучания — СОЗ) ряд неоспоримых и очень важных преимуществ.

Первое и главное из них — это полная независимость качества звука от среды «Б» и ее параметров. Действительно, для точного воссоздания «естественного» звучания в помещениях с разными и

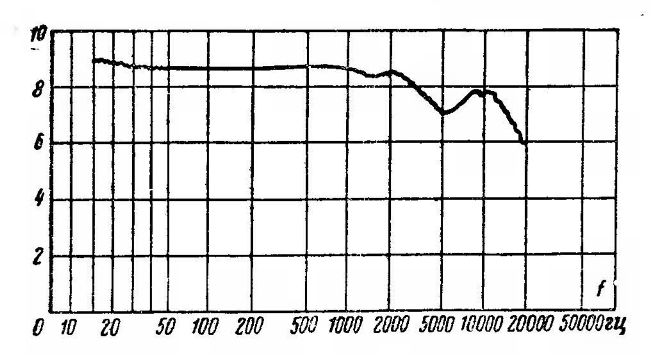


Рис. 53. Частотная характеристика стереофонического головного телефона типа DT-48.

всегда отличными от студийных условиями распространения звука нужно вводить в низкочастотный тракт множество самых разнообразных корректисс, причем никогда не удается добиться одинакового звучания в разных помещениях или для слушателей, находящихся в разных точках одного и того же помещения.

При СГТ, напротив одинаковое звучание воспроизводится для любого количества слушателей с одинаковыми головными телефонами, независимо от места и характера их расположения как в любом помещении, так и на открытом воздухе.

Далее, слушатель в СГТ по существу невосприимчив к всевозможным акустическим помехам и посторонним шумам и звукам в помещении, тогда как СОЗ требует снижения уровня шума внутри помещения для прослушивания.

В то же время СОЗ сама является исключительно сильным источником звуковых помех для окружающих людей в довольно обширной зоне, тогда как СГТ не создает никаких помех даже в непосредственной близости от слушателя. Таким образом, при всестороннем рассмотрении оказывается, что у СГТ гораздо больше преимуществ, чем недостатков по сравнению с СОЗ.

Разумеется, все сказанное справедливо, если допустить, что головные телефоны по своим параметрам будут такими, что обеспечат точное воссоздание спектра и уровней сигнала, соответствующих исходному звучанию в концертном зале.

Надо сказать, что уже сейчас существуют такие головные телефоны. За последние годы многие ведущие зарубежные фирмы

уделяют самое пристальное внимание изучению и развитию систем звуковоспроизведения с головными телефонами, особенно для целей стереофонии. Давно отошли в прошлое времена, когда телефонный капсюль имел полосу воспроизведения от 300 до 2 000 *гц* и динамический диапазон около 20 *дб*. На рис. 53 приведена частотная характеристика стереофонического головного телефона (фирма Bayer, модель DT-48). Из рисунка видно, что частотная характеристика телефона линейна в полосе от 15 до 1 000 *гц*, а в полосе от 15 до 20 000 *гц* неравномерность не превышает 3 *дб*. Заметим, что такой характеристики не имеет ни один, даже самый лучший современный громкоговоритель. Кроме того, в отличие от громкоговорителей телефоны вообще не имеют выраженного механического резонанса на нижних частотах, это позволяет без труда расширить частотный диапазон тракта в сторону низших частот вплоть до значений 10 *гц*, что в обычных акустических системах крайне затруднительно.

Наконец, при использовании СГТ необходима электрическая мощность, не превышающая 100—200 *мвт*, что позволяет принципиально вообще исключить из Hi-Fi тракта УНЧ, являющийся на сегодня одним из наиболее сложных его звеньев, или, в крайнем слу-

Таблица 13

Сравниваемые показатели	Системы открытого звучания (громкоговорящие)	Системы с головными телефонами
Зависимость качества звучания от характера среды «Б»	Сильная	Отсутствует
Зависимость качества звучания от наличия акустических помех в помещении прослушивания или вблизи него	Сильная	Отсутствует
Создание системой собственных помех для окружающих людей	Сильные	Отсутствуют
Идентичность звуковосприятия для всех слушателей, находящихся в разных точках помещения	Нет	Полная
Воспроизводимый диапазон частот, *гц*	20—20 000	10—20 000
Средняя мощность усилителя, *вт*	15—30	0,2—0,5
Стоимость системы, *отн. ед.*	100	10—15
Размеры и вес установки, *отн. ед.*	100	10—15
Потребляемая от сети мощность, *вт*	100—150	5—10

чае, сделать его простейшим одно-двухкаскадным, без усилит… мощности и выходного трансформатора.

В табл. 13 приведены некоторые сравнительные данные обеих си… стем (СГТ и СОЗ), из которой читатель сможет сделать для себ… любопытные и неожиданные выводы. Во всяком случае, у систем … головными телефонами, бесспорно, большое будущее, и мы насто… тельно рекомендуем радиолюбителям обратить серьезное вниман… на эту новую область высококачественного звуковоспроизведения.

Это, конечно, не означает, что громкоговорящие системы буду… постепенно отмирать. Напротив, в ближайшие годы можно ожидат… появления еще более совершенных акустических систем. Сейчас на… более наглядна тенденция к увеличению таких показателей, как о… ношение номинальной выходной мощности акустического агрегат… к его объему и весу. Это означает, иными словами, неуклонн… уменьшение размеров и веса акустических систем при одновреме… ном увеличении их мощности.

Относительно количества громкоговорителей в каждом агрега… можно сказать, что сегодня наибольшее распространение получил… агрегаты с двумя, тремя и четырьмя излучателями. Системы с одни… или пятью громкоговорителями встречаются очень редко. Дальш… мы подробнее рассмотрим вопрос о выборе количества громкогов… рителей и соотношении их параметров внутри агрегата.

22. КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ АКУСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Основными показателями, определяющими качество и общи… уровень современной акустической системы, являются: полоса во… производимых частот и неравномерность частотной характеристи… по звуковому давлению в пределах этой полосы, а также характе… этой неравномерности, величина звукового давления или выходно… мощности, коэффициент нелинейных искажений, характер направ… ленности излучения, количество плоскостей излучения и локализован… ных источников звука, объем и вес акустического агрегата.

Помимо этих прямых показателей мы предлагаем ввести ещ… два производных показателя, весьма существенно характеризующи… акустическую систему с точки зрения ее экономичности, к.п.д. и, есл… так можно выразиться, «конструктивной зрелости». Это отношени… номинальной электрической мощности к полному объему агрега… та (*вт/м*³) и отношение этой же мощности к весу (*вт/кг*). Дальше м… увидим, что эти показатели наглядно иллюстрируют неудовлетвори… тельность большинства радиолюбительских и промышленных кон… струкций. Рассмотрим подробнее каждый из этих показателей.

П о л о с а   в о с п р о и з в о д и м ы х   ч а с т о т определяется… снятой по звуковому давлению частотной характеристикой всего а… регата в целом. Она зависит от частотных характеристик (п… звуковому давлению) отдельных громкоговорителей, от конструкци… футляра, а также от взаимного расположения громкоговорителей.

Поскольку общая частотная характеристика агрегата зависит о… всех указанных факторов, оказывается возможным формировать е… разумным комбинированием частотных характеристик отдельны… громкоговорителей, изменением формы и объема акустической кам… ры, применением звукопоглощающих материалов, введением аку… стических лабиринтов, резонаторов и фазоинверторов.

Формирование частотной характеристики агрегата обычно начи…

нают с установления правильных соотношений мощностей излучения двух смежных по полосе громкоговорителей в области частоты раздела (граничной частоты двух соседних участков спектра). Так как в каком-то общем участке звуковые давления смежных громкоговорителей складываются, нужно, чтобы частотные характеристики этих громкоговорителей по звуковому давлению складывались, образуя постоянную величину суммы на всем общем участке излучения. На рис. 54 показаны возможные случаи сложения характеристик двух громкоговорителей при крутых и пологих фронтах срезов характеристик.

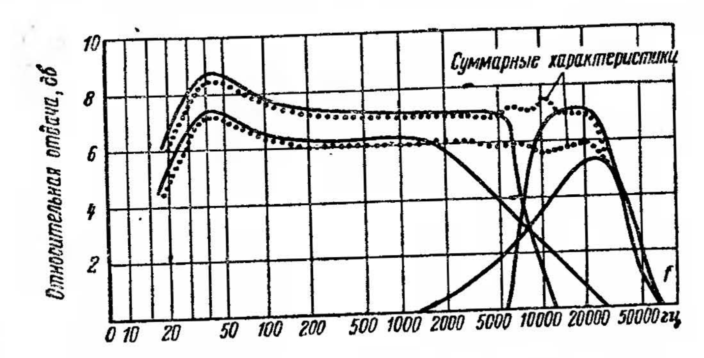


Рис. 54. Формирование сквозной частотной характеристики акустического агрегата с двумя громкоговорителями.

Мы не советуем стараться получать очень резкие спады частотных характеристик излучения громкоговорителей на граничных частотах, так как это затрудняет формирование сквозной частотной характеристики агрегата с приемлемой неравномерностью в пределах всего спектра.

Более разумно при двухполосном агрегате основной (низкочастотный) излучатель использовать в диапазоне от нижней граничной частоты (20—40 *гц*) до частот порядка 6—8 *кгц*, а высокочастотный излучатель подключать постепенно, плавно (например, через конденсатор), начиная с частот порядка 3—5 *кгц*.

В трехполосном агрегате путем точного и тщательного подбора громкоговорителей как по типам, так и по экземплярам, нужно стараться среднечастотный громкоговоритель включить таким образом, чтобы его излучение со стороны нижних частот начиналось сразу же за пиком собственного механического резонанса основных (низкочастотных) громкоговорителей, но не включало в себя его собственный механический резонанс (см. рис. 55).

Со стороны верхних частот характеристика среднечастотного громкоговорителя должна плавно и монотонно убывать к частотам 8—10 *кгц*, перекрываясь на участке 5—8 *кгц* с нижней (левой) ветвью характеристики высокочастотного излучателя.

Н е р а в н о м е р н о с т ь   ч а с т о т н о й   х а р а к т е р и с т и к и   ч у в с т в и т е л ь н о с т и агрегата в пределах рабочей полосы частот должна быть по возможности небольшой, однако этого до-

вольно трудно добиться, так как большинство отечественных громкоговорителей имеет по ГОСТ допустимую неравномерность порядка 14 *дб* (в четыре с лишним раза по звуковому давлению).

Впрочем, при наличии нескольких громкоговорителей, подобранных должным образом, общая неравномерность системы, как правило, уменьшается. Если при этом еще применить несколько акустических фильтров и резонаторов, настроенных точно на частоты наибольших подъемов и провалов сквозной характеристики, то ее

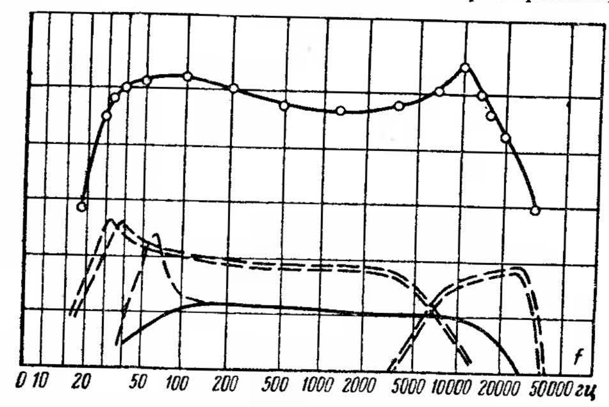


Рис. 55. Формирование сквозной частотной характеристики акустического агрегата из трех групп громкоговорителей (два одинаковых низкочастотных с собственными резонансными частотами 38 и 33 *гц*, среднечастотного с собственным резонансом на частоте 60 *гц* и двух высокочастотных). Пунктиром показаны собственные частотные характеристики каждой группы без учета действия разделительных фильтров.

можно сделать равномерной в пределах ±2—3 *дб*, что считается вполне достаточным, так как дальнейшее уменьшение неравномерности на слух практически не ощутимо.

Общую неравномерность характеристики желательно распределить таким образом, чтобы характеристика была симметрична относительно частоты 1 000 *гц* и плавно и монотонно поднималась к обоим краям рабочей полосы частот.

Любопытно, что когда идет речь о неравномерности частотной характеристики акустического агрегата или отдельного громкоговорителя, обычно оговаривается только величина неравномерности и почти никогда не упоминается характер этой неравномерности. Между тем характер неравномерности частотной характеристики излучателя звука гораздо сильнее сказывается на качестве звучания и имеет большее значение для конструирования акустической системы, чем ее абсолютная величина.

На рис. 56 приведены частотные характеристики девяти акустических систем. Из сравнения характеристик видно, что системы очень сильно отличаются друг от друга, хотя все они на самом деле имеют одинаковые рабочие полосы воспроизводимых частот и одинаковую величину неравномерности частотной характеристики в пределах этой полосы, т. е. иными словами, все девять систем по общепринятой методике объективной оценки должны быть признаны одинаковыми.

Рассмотрим коротко все эти характеристики. Характеристика, изображенная на рис. 56, *а* линейна на большей части рабочего диапазона и имеет резкие спады только вблизи его границ. Если мы вспомним, что для получения более точной звукопередачи при сни-

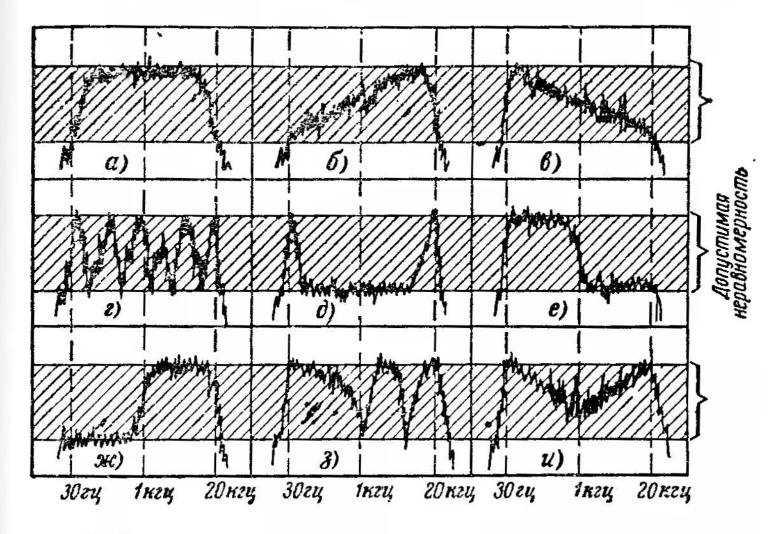


Рис 56. Частотные характеристики девяти различных акустических агрегатов с одинаковой рабочей полосой частот и одинаковой неравномерностью в пределах этой полосы, но различающиеся характером этой неравномерности.

женной против естественной громкости стремятся подчеркнуть и низшие и высшие частоты, то окажется, что рассматриваемая характеристика является как раз обратной, т. е. сильно ослабляет действие регуляторов тембра, уменьшая их реальный диапазон регулирования.

Характеристики на рис. 56, *б* и *в* монотонно возрастают или монотонно убывают от одного края к другому. В первом случае это снижает отдачу на низких частотах, заставляя искусственно «поднимать» низшие частоты в усилителе, что всегда нежелательно из-за увеличения фона; во втором случае то же происходит с высшими частотами, искусственный подъем которых в усилителе приводит к увеличению «шипения».

Характеристика рис. 56, *г* имеет неравномерность, распределенную по всему диапазону воспроизводимых частот без выраженного преобладания на отдельных участках. При такой характеристике акустическая система обычно имеет наибольший коэффициент нели-

нейных искажений, и в такой системе труднее всего устранять различные механические дребезжания ее элементов.

Характеристика рис. 56, *д* уже предпочтительнее, хотя наличие острых пиков на граничных частотах приводит на практике к неприятному «бубнению» и неоправданному подчеркиванию самых высших частот, где сосредоточены обертоны (обычно в форме вторых и третьих гармоник) многих музыкальных инструментов, в силу чего высокочастотный «пик» резко увеличивает коэффициент нелинейных искажений системы.

Характеристики, изображенные на рис. 56, *е* и *ж*, являются результатом неправильного выбора соотношения мощностей громкоговорителей в двухполосном акустическом агрегате, а на рис. 57, *з* — в трехполосном.

Последняя характеристика (рис. 56, *и*) наиболее предпочтительна, так как она в значительной мере компенсирует неравномерность частотной характеристики человеческого уха при малой громкости и способствует увеличению эффективной глубины регулировки тембра в УНЧ. Хотя, конечно, повторяем, лучше всего добиваться малой неравномерности частотной характеристики агрегата в целом.

Коэффициент нелинейных искажений акустического агрегата может значительно превышать к.н.и. усилителя.

Нелинейные искажения акустического агрегата вызваны главным образом двумя причинами: неравномерностью магнитного потока в зазоре магнитной системы громкоговорителей и параметрическим возбуждением конуса (диффузора), когда конус колеблется с частотой, вдвое меньшей возбуждающей. К нелинейным искажениям относят и дребезжание каких-нибудь деталей футляра, громкоговорителей, проводов и разных конструктивных элементов. Чаще всего источниками дребезжаний являются выводные провода от диффузоров громкоговорителей, особенно если они при больших амплитудах сигнала касаются корпуса диффузородержателя или самого диффузора, неплотно пригнанная задняя стенка, плохо закрепленные соединительные провода внутри агрегата, не до конца завинченные болты и шурупы с подложенными под них шайбами и плохо натянутый драпировочный материал на лицевой стороне футляра громкоговорителя. Поэтому для уменьшения к.н.и. акустического агрегата надо при его сборке обращать самое серьезное внимание на указанные моменты. Если на одной или нескольких частотах к.н.и. агрегата намного превосходит допустимый, нужно вначале попытаться заменить на другой однотипный тот из громкоговорителей, в чьей рабочей полосе находится частота с большим значением к.н.и. Обычно это всегда помогает. Если же после такой замены к.н.и. все равно остается недопустимо большим, нужно избирательно уменьшить отдачу на этой частоте, используя акустические методы или применяя режекторные фильтры в УНЧ. При этом можно в случае необходимости делать «вырез» в характеристике больше, чем это допускается общей величиной неравномерности на весь тракт, так как это всегда лучше, чем большой коэффициент нелинейных искажений.

Номинальная электрическая мощность акустического агрегата — это та подводимая к нему мощность, при которой к.н.и. не превышает определенной, заданной величины. Номинальная электрическая мощность, вообще говоря, является косвенной характеристикой, не дающей однозначного представления о громкости звучания. Это объясняется тем, что звуковое давление, развиваемое громкоговорителем, зависит от подводимой к нему электрической

мощности звукового сигнала и от к.п.д. громкоговорителя. Может оказаться, что два громкоговорителя с одинаковой номинальной электрической мощностью имеют разный к.п.д. При одинаковом акустическом оформлении и одинаковой подводимой мощности громче будет звучать тот, у которого выше к.п.д.

Правильнее было бы сравнивать разные акустические системы по развиваемому ими звуковому давлению при одинаковой подводимой мощности, однако измерение звукового давления возможно только в лабораторных условиях, поэтому на практике с величиной подводимой электрической мощности связывают громкость звучания, что в подавляющем большинстве случаев практики вполне допустимо и оправдано.

Вопрос о том, какова должна быть номинальная мощность акустического агрегата в Hi-Fi системе — спорный, и дать на него однозначный ответ невозможно. Некоторые считают вполне достаточной величину 3—5 *вт*. Большинство отечественных вещательных радиоприемников бытового назначения имеют такие же значения. Даже у стереорадиол высшего класса («Симфония-2» и «Эстония-4») номинальная мощность каждой звуковой колонки равна 9 *вт*.

Зарубежные фирмы, напротив, выпускают акустические агрегаты для Hi-Fi аппаратуры преимущественно с большими значениями номинальной мощности. Среднее значение этой мощности обычно лежит в пределах 15—30 *вт* (на одну колонку) хотя довольно часто встречаются системы мощностью 40, 60 и даже 100 *вт*.

Основной вопрос, который обычно приходится решать при выборе номинальной мощности акустического агрегата — это соотношение между мощностями отдельных групп громкоговорителей. Неправильный выбор такого соотношения приводит к увеличению неравномерности частотной характеристики агрегата (см. рис. 57).

Характеристика направленности излучения акустического агрегата почти целиком определяется направлением осей отдельных громкоговорителей. Однако никогда нельзя забывать, что распределение плотности звуковой энергии в помещении зависит и от характеристики направленности излучения агрегата и от свойств среды «Б», т. е. от характера отражения, поглощения и рассеяния звука в данном помещении.

Поэтому в радиолюбительских условиях, когда создаваемая конструкция заранее рассчитывается на определенное помещение, первичными являются свойства среды «Б», а характеристика направленности излучения акустического агрегата будет подчиненным, производным параметром. Именно это обстоятельство затрудняет рекомендации по выбору характеристики направленности излучения акустической системы, хотя, повторяем, параметр этот очень важный.

Впрочем, некоторые общие советы все же можно дать. Прежде всего, бесполезно ставить перед собой задачу достижения равномерности плотности звуковой энергии по всему помещению, так как это практически недостижимо. Гораздо правильнее ограничить некоторую площадь внутри помещения, являющуюся самой удобной для расположения постоянных слушателей, и, считая эту площадь оптимальной зоной слушания, добиваться равномерной громкости звучания внутри этой зоны. Особенно справедливо такое решение для стереофонических систем, где оптимальная зона просто ограничена необходимостью получить максимальный стереоэффект.

Располагая громкоговорители внутри агрегата, нужно учитывать и использовать влияние отражающих, поглощающих и рассеиваю-

щих предметов в помещении, а в случае необходимости — умело вводить их искусственно (например, повесить в определенном месте на стене и под определенным углом картину, зеркало или, наоборот, ковер, штору и т. д.). Полезно, чтобы радиолюбители экспериментировали в этом отношении.

Вообще вся эта работа почти целиком является экспериментальной, и единственным критерием правильности ее выполнения является описанный в гл. 1 метод субъективных испытаний.

Почти всегда легче добиться нужного характера излучения агрегата, если акустические камеры НЧ и ВЧ групп громкоговорителей внутри агрегата полностью разобщены глухими перегородками со звукопоглощающими поверхностями. Неравномерная (отличающаяся от круговой) характеристика направленности с заметными зонами провала обычно возникает при наличии отраженных звуковых волн внутри футляра агрегата и неудачной ориентацией осей громкоговорителей, поэтому надо принимать меры для предотвращения таких искажений. Как это делать — мы расскажем дальше.

И, наконец, нужно напомнить, что вовсе не обязательно (тем более в любительских условиях) все громкоговорители размещать внутри основного агрегата. Часть громкоговорителей, обычно высокочастотных, целесообразно разместить на стенах или по углам комнаты, по возможности скрытно, опытным путем подбирая высоту подвеса, угол наклона громкоговорителя к горизонтальной плоскости.

Отношение номинальной мощности акустического агрегата к его объему и весу является, как мы уже говорили, очень важной его характеристикой. Действительно, во всех случаях желательно получить нужные акустические показатели при меньших размерах агрегата, так как в общем-то акустическая система в жилом помещении является лишним, посторонним предметом, занимающим дополнительное место. Особое значение этот фактор приобретает для небольших квартир, поэтому совершенно недопустимо произвольное, неоправданное увеличение размеров акустических агрегатов, тем более что это всегда связано с удорожанием установки в целом.

Однако и уменьшение размеров агрегата должно быть разумным, поэтому в следующем параграфе мы рассмотрим этот вопрос подробнее.

В табл. 14 приведены сравнительные данные целого ряда отечественных и зарубежных акустических Hi-Fi агрегатов. Мы включили в эту таблицу две графы с показателями отношения номинальной мощности агрегата к его объему и весу. При рассмотрении таблицы бросается в глаза большая разница этих двух показателей для отечественных промышленных акустических систем и аналогичных зарубежных.

Если для лучших отечественных радиол высшего класса «плотность мощности» составляет менее 100 *вт/м*³, то для большинства современных зарубежных моделей эта цифра колеблется около значения 1 000 *вт/м*³, достигая в некоторых образцах величин 2—3 *квт/м*³. Аналогичная картина наблюдается и для другого показателя — «удельного веса» номинальной мощности. Наивысшее значение этого показателя среди отечественной аппаратуры равно 0,39 *вт/кг* (для радиолы «Симфония-2»), тогда как для большинства зарубежных систем этот параметр выражается единицами и десятками ватт на килограмм.

Таблица 14

Тип акустического агрегата, приемника или радиолы	Фирма и страна-изготовитель	Количество громкоговорителей	Диапазон воспроизводимых частот, *гц*	Номинальная мощность, *вт*	Размеры, *мм*	Вес, *кг*	Отношение номинальной мощности агрегата к объему, *вт/м*³	Отношение номинальной мощности агрегата к весу, *вт/кг*
«Симфония-2»	З-д им. Попова, СССР	3	40—15 000	6,0	370×230×870	16,0	86	0,37
«Эстония-4»	Пунане-Рэт, СССР	2	50—15 000	6,0	362×290×915	15,4	66	0,39
«Ригонда-стерео-2»	З-д им. Попова, СССР	3	60—12 000	2,0	430×320×805	12,0	18	0,17
Audimax-I	Audax, Франция	2	50—18 000	8,0	220×130×260	2,35	1 000	3,4
Audimax-II	Audax, Франция	2	40—18 000	15,0	200×300×350	6,3	750	2,4

Тип акустического агрегата, приемника или радиолы	Фирма и страна-изготовитель	Количество громкоговорителей	Диапазон воспроизводимых частот, *гц*	Номинальная мощность, *вт*	Размеры, *мм*	Вес, *кг*	Отношение номинальной мощности агрегата	
							к объему, $вт/м^3$	к весу, *вт/кг*
Audimax-III	Audax, Франция	2	35—22 000	25,0	225×280×350	7,3	1 250	3,4
Audimax-IV	Audax, Франция	3	30—22 000	30,0	205×345×545	—	1 000	—
Audimax-V	Audax, Франция	4	20—25 000	40,0	300×330×570	—	800	—
Модель SC130F	National, Япония	4	30—20 000	40,0	220×235×360	4,0	2 200	10,0
Модель RS761S	National, Япония	4	30—18 000	8,0	150×270×430	2,0	500	4,0

Правда, такое резкое различие объясняется чаще всего тем, что зарубежные акустические системы строятся по «закрытому типу» в отличие от «открытых» систем отечественного производства.

Поскольку не все радиолюбители четко представляют себе сущность названных систем и разницу между ними, мы рассмотрим сейчас этот вопрос несколько подробнее.

23. ТИПЫ И КОНСТРУКЦИИ АКУСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Принцип действия и конструкция современных громкоговорителей с излучающей системой в виде колеблющейся мембраны конической формы таковы, что передняя и задняя поверхности мембраны (конуса, «диффузора») излучают звуковые колебания в противофазе. Когда конус движется вперед, у его передней поверхности создается сжатие воздуха, а позади — разрежение и наоборот. Взаимодействие двух противофазных волн, идущих от передней и задней поверхностей конуса, вызывает «акустическое замыкание» и приводит к снижению звукового давления, создаваемого громкоговорителем, особенно на низших частотах. Для борьбы с этим неприятным явлением необходимо разделить излучение передней и задней поверхностей конуса.

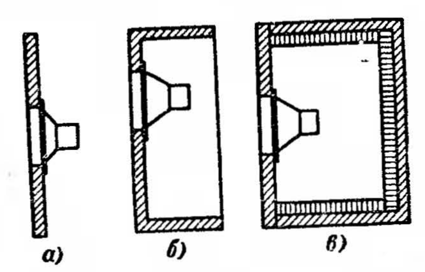


Рис. 57. Разновидности акустических экранов.

В идеале следовало бы укрепить громкоговоритель в отверстии бесконечно большой звуконепроницаемой плоскости — акустического экрана (щита, «отражательной доски»). Однако это неосуществимо. Практически по ряду причин экран имеет ограниченные размеры (рис. 57, *а*). Чаще всего громкоговорители размещают не на плоских акустических экранах (щитах), а внутри футляров обычно в форме параллелепипеда (рис. 57, *б*). Боковые стенки футляра являются как бы продолжением передней плоскости, увеличивая площадь экрана при сравнительно меньших размерах акустического агрегата. Иными словами, боковые стенки футляра — это как бы отогнутые на 90° назад края экрана.

Для разобщения излучения передней и задней поверхностей конуса громкоговоритель помещают также в закрытый футляр (рис. 57, *в*).

Однако если закрыть футляр акустического агрегата глухой задней стенкой (крышкой), то гибкость воздушного объема футляра, действуя совместно с гибкостью подвеса конуса громкоговорителя, повышает частоту механического резонанса громкоговорителя, а это заметно повышает нижнюю границу полосы пропускания агрегата. Поэтому в системах с закрытым ящиком приходится применять громкоговорители с более низкой частотой механического резонанса.

Кроме того, закрытый объем ящика возбуждается на ряде резонансных частот, что приводит к ухудшению частотной характеристики агрегата. Во избежание резонирования полости ящика ее необходимо заполнить звукопоглощающим материалом.

Наличие закрытой полости приводит также к уменьшению звукового давления, развиваемого громкоговорителем, так как конусу громкоговорителя при своем движении приходится преодолевать сопротивление закрытого воздушного объема

Правда, этот недостаток одновременно является и большим достоинством закрытых акустических систем, так как воздух в замкнутом объеме служит отличным демпфером громкоговорителя, резко уменьшающим неравномерность его частотной характеристики.

Акустические системы открытого типа, напротив, конструируют так, чтобы футляром скомпенсировать недостатки характеристик громкоговорителей, поэтому их размеры, объем и внутреннее устройство зависят от того, какие именно характеристики громкоговорителей необходимо исправить. Однако это требует громоздких футляров с большим внутренним объемом.

Таким образом, закрытые системы всегда компактны, не требуют «настройки» в процессе их изготовления, но зато имеют значительно меньший к. п. д., т. е. требуют подведения к громкоговорителям большей мощности. Кроме того, для закрытых систем требуются громкоговорители с более низкой частотой собственного резонанса.

Открытые системы позволяют получить то же качество звучания при более высокой резонансной частоте громкоговорителей и меньшей подводимой мощности, но более громоздки, сложнее в изготовлении и по существу требуют той же технологии изготовления и также критичны к качеству применяемых материалов, как и музыкальные инструменты с деревянной декой и с полыми акустическими резонаторами.

Что касается конструкций акустических агрегатов, то они могут быть очень разнообразными, особенно для систем открытого типа. Все это разнообразие можно условно разделить на две группы: конструкции, содержащие различные акустические лабиринты, фазоинверторы, волноводы, резонаторы, и т. п., и конструкции, не содержащие таковых.

Такое условное разделение мы принимаем для того, чтобы подчеркнуть очень важную мысль: системы первой группы о б я з а т е л ь н о должны быть предварительно т о ч н о рассчитаны, их акустические характеристики задаются заранее при проектировании, а процесс изготовления подчинен исключительно получению заданных заранее параметров. Все перечисленные акустические способы формирования частотной характеристики дают ожидаемые результаты только при совершенно точном расчете и не менее точном выполнении конструкции. В противном случае применение этих методов совершенно бессмысленно.

Вот почему мы предостерегаем радиолюбителей, не имеющих достаточного опыта расчета и конструирования акустических систем, от случайного, наугад, выпиливания всевозможных отверстий, щелей в стенках футляра, установки различных перегородок и т. п. в надежде на неожиданное получение потрясающих результатов.

Создание хорошей акустической системы — дело очень тонкое и кропотливое, особенно при отсутствии оборудованного помещения и аппаратуры для акустических измерений, поэтому мы рекомендуем радиолюбителям отдавать предпочтение системам другой группы.

К этой группе мы условно отнесли агрегаты, не содержащие чисто акустических элементов формирования их частотных характеристик. Условно потому, что, собственно говоря, наличие самого футляра, его форма и объем для систем открытого типа — это тоже

чисто акустические элементы, участвующие в формировании характеристик акустического агрегата. Однако мы подразумевали отсутствие в этой группе искусственно вводимых акустических устройств.

Системы этой группы можно делать без тщательного и точного предварительного расчета, поскольку многие их показатели можно в широких пределах изменять путем применения различных материалов футляра, его внутренней отделки, подбором формы, толщины и угла наклона переднего щита, комбинацией и расположением громкоговорителей, введением различных электрических фильтров и другими подобными приемами.

Короче говоря, системы этой группы допускают самое широкое экспериментирование с использованием имеющихся подручных материалов (пенопласт, резина, войлок, пробка и т. п.) и типов громкоговорителей, поэтому они наиболее пригодны для радиолюбителей.

По этим соображениям мы не будем рассматривать в книге устройство акустических лабиринтов, фазоинверторов, волноводов, хотя они имеют самое прямое отношение именно к высококачественным акустическим системам, а лучше проведем анализ нескольких конкретных типов любительских систем второй группы.

1. С и с т е м ы, с о с т о я щ и е и з о д н о г о а к у с т и ч е с к о г о а г р е г а т а. Такие системы применимы только для монофонических Hi-Fi установок, поэтому они не являются универсальными и перспективными. Мы рассмотрим их здесь только потому, что на их основе в дальнейшем можно путем очень несложной доработки создать отличные стереофонические трехканальные системы с тремя или пятью локализованными источниками звука.

В системе с одним акустическим агрегатом труднее всего получить равномерное озвучание помещения и избавиться от острой направленности звука, поэтому в них приходится всегда применять разделение спектра на три полосы, и использовать для каждого участка минимум по два громкоговорителя.

Правда, в низкочастотной группе по этому признаку можно было бы ограничиться и одним громкоговорителем, так как на низких частотах излучатель не обладает острой направленностью, однако, низкочастотные излучатели имеют собственный механический резонанс у самой границы рабочей полосы частот и поэтому весьма сильно влияют на неравномерность частотной характеристики. Чтобы уменьшить это влияние, лучше всего применить не один, а два однотипных НЧ громкоговорителя с разными резонансными частотами.

Низкочастотные громкоговорители надо располагать в нижней части передней стенки футляра (ближе к полу) так, чтобы оси мембран (конусов) громкоговорителей были горизонтальны, либо были направлены в сторону слушателя (т. е. имели наклон 10—15° к плоскости пола). Последнее достигается соответствующим наклоном щита вместе с громкоговорителями.

Среднечастотная группа может состоять из одного или двух однотипных громкоговорителей. В первом случае (рис. 58, *а*) он располагается выше низкочастотной группы, практически в центре переднего щита. При двух громкоговорителях их размещают над основными и под очень небольшим углом друг к другу (5—10°) в горизонтальной плоскости, как показано на рис. 58, *б*.

Высокочастотную группу можно делать из четырех или трех однотипных громкоговорителей, размещая их, как показано на рис. 58, *а*, б. Располагать ВЧ громкоговорители на боковых стенках под прямым углом к основным мы не рекомендуем, так как при

этом возникает прямое отражение от боковых стен помещения, резко уменьшающее эффективность излучения, и в оптимальной зоне составляющих высших частот будет недостаточно. Это замечание не относится к случаю углового расположения акустического агрегата в помещении, при котором ВЧ громкоговорители оказываются развернутыми относительно стен на 45°.

2. Системы из двух однотипных звуковых колонок сейчас наиболее распространены, так как при умеренных габаритах обеспечивают очень хорошую равномерность озвучания помещения, одинаково пригодны как для монофонических, так и для

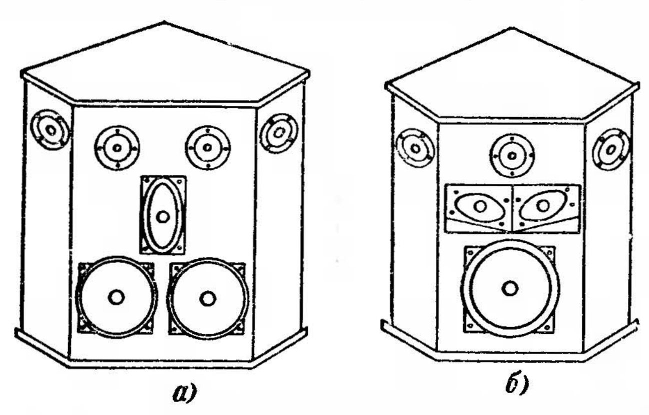


Рис. 58. Возможные конструкции мощного широкополосного акустического агрегата.

стереофонических установок, причем в первом случае легко обеспечивается «псевдообъемность» звука ввиду разнесенных источников — качество. которое практически нельзя получить при одном локализованном источнике звука независимо от количества громкоговорителей в нем.

Если на первых порах такие колонки имели различные формы, то теперь в подавляющем большинстве случаев для систем открытого типа их делают вертикальными, с прямоугольным сечением и большим отношением высоты к глубине и ширине (от 3 : 1 до 4 : 1), а для закрытых систем — в форме прямоугольных параллелепипедов с соотношением любых сторон, лежащим в пределах 1 : 1,5 или реже — 1 : 2.

Колонки открытого типа почти всегда предназначены для установки прямо на полу, тогда как малогабаритные закрытые агрегаты часто рассчитаны на подвеску на стене или устанавливаться на специальных легких подставках, тумбочках, книжных полках и на стеллажах комбинированной мебели.

По составу громкоговорителей и их расположению колонки этой группы обычно двух- или трехполосные, с вертикальным однорядным или двухрядным расположением громкоговорителей. Низкочастотные излучатели расположены всегда внизу, высокочастотные — в верхней части колонки на том же щите. Несколько громкоговорителей одной полосы частот, как правило, располагаются рядом, на одной высоте, хотя при двух мощных низкочастотных излучателях из-за экономии ширины агрегата их нередко располагают друг над другом.

Высокочастотные излучатели в этих агрегатах на боковые стенки или под углом к лицевой плоскости почти никогда не устанавливают, так как это затрудняет воссоздание точной звуковой картины при стереофоническом звуковоспроизведении. На рис. 59 приведены несколько возможных конструктивных решений для современных Hi-Fi акустических систем, а на рис. 60 — фотографии некоторых отечественных и зарубежных звуковых колонок как открытого, так и закрытого типов.

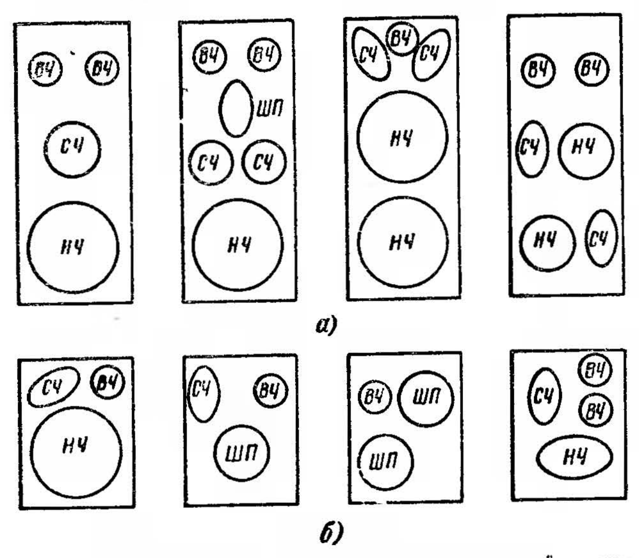


Рис. 59. Варианты размещения громкоговорителей в акустических колонках.

а — открытого типа; *б* — закрытого типа.

3. Системы с тремя и более разнесенными акустическими камерами сейчас встречаются довольно редко, хотя в недалеком прошлом они были очень распространенными и популярными. Как правило, такие системы представляют собой сочетание одного мощного низкочастотного или широкополосного агрегата по типу описанного в п. 1 этого параграфа, и двух или четырех (реже — трех) одинаковых выносных высокочастотных излучателей, заключенных каждый в самостоятельную декоративную коробку небольших размеров. Эти выносные ВЧ излучатели с длинными выносными шлангами (по 10—15 *м*) размещают в разных местах помещения, причем как место их расположения, так и направление излучения выбирают опытным путем по получению наименьшей неравномерности звука в оптимальной зоне.

В радиолюбительской практике такие системы вполне оправданы и еще найдут достаточное распространение, так как позволяют довольно гибко варьировать общую характеристику направленности звука всей акустической системы путем простого перемещения выносных коробок.

Системы этого типа пригодны и для стереофонического звуковоспроизведения по принципу неполного разделения каналов, когда основной низкочастотный излучатель является общим для обоих каналов стереотракта, а непосредственно стереоэффект создается двумя независимыми высокочастотными группами излучателей (по одной в каждом канале).

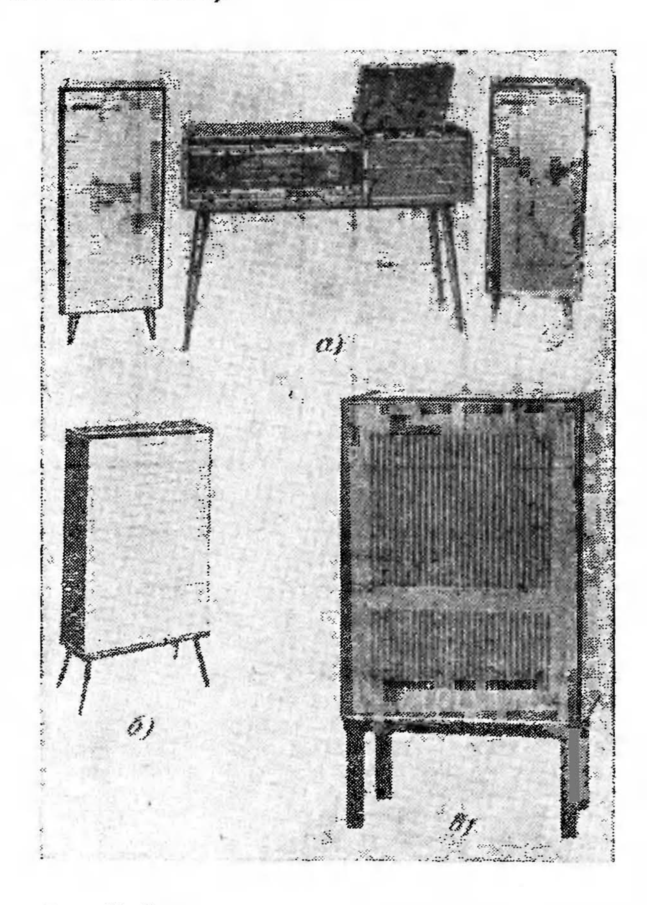


Рис. 60. Внешний вид различных звуковых колонок.

а — «Симфония-2»; *б* — «Ригонда-стерео»; *в* — фирмы «Несо»; *г* — колонки для размещения на книжных полках и стеллажной мебели; *д* — различные агрегаты закрытого типа.

Для систем этого типа заслуживает внимания довольно своеобразная конструкция высокочастотных излучателей, обладающая хорошей равномерностью излучения в горизонтальной плоскости. В этой конструкции (рис. 61) два одинаковых круглых ВЧ громкоговорителя непривычно расположены один над другим конусами навстречу, но электрически включены противофазно, поэтому их звуковые давления складываются, и система в целом обладает выраженной направленностью только по вертикали. В горизонтальной же плоскости излучение хотя и значительно меньше по величине, но зато совершенно равномерно во все стороны.

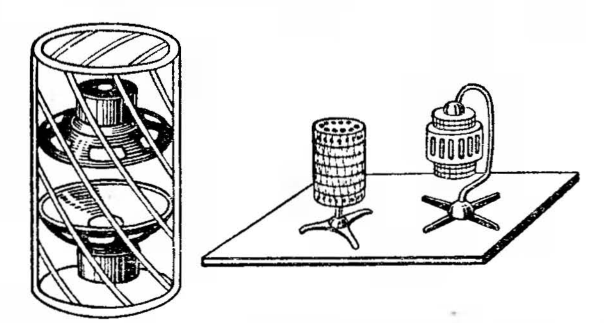


Рис. 61. Конструкция высокочастотного излучателя с круговой характеристикой излучения в горизонтальной плоскости.

Конструктивное оформление такой группы совершенно не принципиально, желательно только зону стыка громкоговорителей сделать акустически «прозрачной», т. е. помещать излучатели не в глухой стакан, а в ажурный каркас, обтянутый декоративным материалом с редкой фактурой, металлической или капроновой сеткой и т. п.

24. ВЫБОР КОНСТРУКЦИИ СИСТЕМЫ И ТИПОВ ГРОМКОГОВОРИТЕЛЕЙ

В предыдущем параграфе мы рассмотрели довольно много самых разнообразных систем различных типов. Каждая из них имеет свои достоинства и недостатки. Довольно трудно сразу остановить свой выбор на какой-либо из них, поэтому мы попробуем помочь радиолюбителям советом.

Два фактора являются решающими при выборе типа и конструкции акустической системы. Первый — это размеры и характер помещения, для которого проектируется установка. Второй — материальные возможности конструктора и, в частности, вопрос о том, будет ли радиолюбитель собирать агрегат на основе уже имеющихся у него громкоговорителей и футляров, или он имеет возможность приобрести любые необходимые элементы и детали будущей установки.

Любительские звуковоспроизводящие установки выгодно отличаются от промышленных именно тем, что их можно (и нужно!) проектировать не отвлеченно, вообще, а для конкретного помещения. Здесь можно дать следующие рекомендации.

Громкоговорящие Hi-Fi системы открытого звучания имеет смысл делать только для помещений с площадью не менее 20—25 *м²*. В меньших помещениях нужно применять только Hi-Fi системы с головными телефонами, либо ограничиваться использованием стандартной аппаратуры не выше первого класса, так как к примеру в комнате площадью 10—12 *м²* двадцативаттная Hi-Fi стереоустановка совершенно неуместна, ибо радиолюбитель никакими ухищрениями не заставит ее звучать так, как положено звучать Hi-Fi установке.

Мы еще раз подчеркиваем, что это вовсе не значит, что в небольших помещениях нельзя получить высококачественного звучания. Можно. Но только не с громкоговорящими установками, а с головными телефонами.

Если имеется возможность расположить любые акустические агрегаты в любом месте комнаты, то лучше всего ориентироваться на систему из двух одинаковых агрегатов открытого типа, так как в этом случае одинаково просто обеспечить широкую зону оптимального звучания как для монофонических, так и для стереофонических программ.

Если же место для акустической системы в комнате ограничено, то более предпочтительно остановиться в зависимости от формы и размеров комнаты на системе из трех или пяти отдельных излучателей с одним общим мощным широкополосным агрегатом, который конструктивно можно приспособить для установки в углу комнаты, и двух или четырех выносных ВЧ громкоговорителей. Такие системы мы подробно рассматривали в предыдущем параграфе.

Если комната небольшая (18—20 *м²*), в ней установлена комбинированная мебель стеллажного типа, то лучше всего применять малогабаритные акустические системы закрытого типа, хотя, как мы уже говорили, они требуют более высококачественных громкоговорителей.

Для очень больших (свыше 60 *м²*) жилых помещений с высокими (выше 3,5 *м*) потолками лучше всего применить систему из двух мощных широкополосных агрегатов открытого типа, устанавливаемых в двух смежных углах, дополненную двумя небольшими среднечастотными агрегатами закрытого типа (по 3—5 *вт*), расположенными приблизительно в центральной части боковых стен и направленных своими осями в сторону зоны оптимального звучания, и двух или четырех отдельных выносных ВЧ громкоговорителей, расположение которых в комнате подбирается опытным путем.

В отношении конструкций акустического агрегата дать конкретные рекомендации несколько труднее из-за их огромного разнообразия, однако некоторые советы можно считать общими для всех случаев.

Прежде всего, не нужно очень изощряться в выборе необычайной формы футляра. С точки зрения акустических свойств, решающее значение имеет внутренний объем футляра, а не его форма. В то же время многогранные и сферосодержащие конструкции всегда порождают многократные дополнительные отражения звука, не поддающиеся учету и трудно устранимые. Поэтому наиболее естественными можно считать формы, показанные на рис. 60.

В двух- и трехполосных агрегатах всегда желательно наглухо отделять высокочастотную камеру от общего внутреннего объема пе-

регородкой из материала с большим затуханием звука. Лучше всего ее делать из толстой листовой резины или пенопласта.

Задняя стенка акустических агрегатов открытого типа должна беспрепятственно пропускать звуковые волны, поэтому ее нужно делать либо в виде деревянного каркаса, обтянутого не очень мелкой металлической сеткой, оклеенной в свою очередь изнутри редкой марлей, либо из тонкой (2—3 *мм*) фанеры с большим количеством крупных отверстий по всей ее площади.

Любые резонансы стенок футляра, как и резонансы внутреннего объема воздуха, являются вредными и с ними нужно бороться.

Исключение составляет акустический экран (щит) в тех случаях, когда он заведомо выполняется из специальных «музыкальных» пород древесины с определенными, заранее заданными резонансными свойствами, но даже в этом случае применяют особую, плавающую, независимую подвеску экрана (щита), чтобы его колебания не передавались стенкам футляра и не вызывали резонансных явлений в футляре. В любых случаях корпус футляра не должен излучать звуковых колебаний.

При выборе типов и количества громкоговорителей нужно исходить из требуемой суммарной мощности агрегата для конкретного помещения и возможностей приобретения нужных громкоговорителей.

Если у радиолюбителя имеются несколько разных свободных громкоговорителей, то, конечно, желательно использовать их в создаваемой конструкции. Впрочем, это допустимо лишь при условии, что все имеющиеся громкоговорители полностью исправны, не имеют дефектов и по своим параметрам годятся для использования в Hi-Fi установках.

Начинать выбор всегда надо с мощного низкочастотного громкоговорителя. Мы уже говорили и повторяем еще раз, что лучше всего применять наиболее мощный из имеющегося ассортимента громкоговорителей с наиболее низкой частотой собственного механического резонанса. В Hi-Fi установках мощность низкочастотного громкоговорителя никогда не может оказаться «излишней». Разумеется, при этом нужно принимать во внимание и размеры излучателя.

Если система состоит из двух одинаковых колонок, необходимо подбирать два совершенно одинаковых комплекта громкоговорителей, так как недопустимо в одной колонке применить одни типы, а в другой — другие.

Если в одной колонке для увеличения мощности применяются два громкоговорителя одного типа, совершенно необходимо, чтобы у них были разные резонансные частоты, причем не по паспорту, а по результатам измерений При наличии выбора предпочтение всегда нужно отдавать громкоговорителям с более низкой резонансной частотой.

Если в качестве основного (или основных) используется достаточно широкополосный громкоговоритель, диапазон которого уверенно перекрывается с диапазоном высокочастотного излучателя, то нет необходимости включать в схему агрегата отдельный среднечастотный излучатель.

Если же между спектрами НЧ и ВЧ громкоговорителей имеется «провал», применение среднечастотного излучателя обязательно.

Вообще говоря, поскольку, с одной стороны, нельзя учесть все возможные варианты, а с другой стороны — выбор конкретных громкоговорителей для наших радиолюбителей не слишком велик, проще перечислить несколько наиболее удачных вариантов сочетаний отечественных громкоговорителей широкого применения для любительских акустических систем.

Вариант 1. Две одинаковые колонки «открытого» типа, напольного оформления, для моно- и стереотрактов с полным разделением каналов. В каждой колонке по три громкоговорителя: 6ГД-2 (НЧ), 3ГД-1 (СЧ) и 3ГД-15 (ВЧ). Общая полоса частот 40—18 000 *гц*. Номинальная мощность каждой колонки 8 *вт*.

Вариант 2. То же; в каждой колонке по три громкоговорителя. 6ГД-2 (НЧ), 3ГД-28 (СЧ) и ВГД-1 (ВЧ). Общая полоса частот 40—15 000 *гц*. Номинальная мощность каждой колонки 8 *вт*.

Вариант 3. То же; но в каждой колонке по четыре громкоговорителя: 10ГД-17 (НЧ), 4ГД-28 (СЧ) и 3ГД-15 — 2 шт. (ВЧ). Общая полоса частот 40—15 000 *гц*. Номинальная мощность каждой колонки 15 *вт*.

Вариант 4. То же; в каждой колонке по четыре громкоговорителя. 4ГД-1 или 4ГД-28 (широкополосный ШП) — 2 шт. и ВГД-1 — 2 шт. (ВЧ). Общая полоса частот 60—15 000 *гц*. Номинальная мощность каждой колонки 7 *вт*.

Вариант 5. Система из одного основного широкополосного агрегата «открытого» типа напольного оформления и двух выносных ВЧ излучателей для моно- и стереофонических трактов с неполным разделением каналов. Основной агрегат состоит из шести громкоговорителей: 10ГД-17 — 2 шт. (НЧ), 5ГД-14 или 5ГД-10 (СЧ) и 3ГДВ2 — 3 шт. (ВЧ). Выносные излучатели (2 шт.) содержат по одному громкоговорителю типа 3ГДВ2 или ВГД-2. Общая полоса частот 35—20 000 *гц*. Номинальная мощность агрегата 25 *вт*.

Вариант 6. То же, но в основном агрегате четыре громкоговорителя: 10ГД-17 (НЧ), 3ГД-28 — 2 шт. (СЧ) и ВГД-1 или 1ГД-3 (ВЧ). Выносные излучатели (2 шт.) содержат по одному громкоговорителю типа 1ГД-3 или ВГД-1. Общая полоса частот 40—15 000 *гц*. Номинальная мощность агрегата 15 *вт*.

Вариант 7. Система из двух одинаковых колонок «закрытого» типа подвесного или настольного оформления для моно- и стереотрактов с полным разделением сигнала. В каждой колонке по два громкоговорителя: 5ГД-10 (ШП) и 3ГД-15 (ВЧ). Общая полоса частот 50—18 000 *гц*. Номинальная мощность каждой колонки 5 *вт*.

Вариант 8. То же, но в каждой колонке по четыре громкоговорителя: 3ГД9 — 2 шт. (ШП) и ВГД-1 — 2 шт. (ВЧ). Общая полоса частот 60—15 000 *гц*. Номинальная мощность каждой колонки 6 *вт*.

Вариант 9. То же, но в каждой колонке по шесть громкоговорителей: 2ГД-3 — 4 шт. (ШП) и ВГД-1 — 2 шт. (ВЧ). Общая полоса частот 60—15 000 *гц*. Номинальная мощность каждой колонки 8 *вт*.

Разумеется, что перечисленными вариантами отнюдь не ограничивается неисчерпаемое многообразие вариантов акустических систем, и радиолюбители могут смело экспериментировать в выборе других сочетаний. Однако большинство других сочетаний будет так или иначе повторять по параметрам какое-нибудь из приведенных выше, поскольку ассортимент имеющихся в продаже громкоговорителей ограничен.

Точно так же и каждый из приведенных вариантов не является чем-то обязательным и неизменяемым. При отсутствии одного из указанных громкоговорителей его почти всегда можно заменить другим, близким по параметрам. Для таких случаев мы приводим список возможных замен, причем в скобках указаны нежелательные замены,

приводящие к некоторому ухудшению качества и к которым следует прибегать только в самых крайних случаях.

1. 10ГД17 — 10ГД18 — 6ГД2РР3.
2. 5ГД3 — 5ГД10 — 4ГД28 — 4ГД4РР3 — (5ГД14).
3. 4ГД28 — 4ГД7 — 4ГД1 — 4ГД4РР3 — (5ГД14).
4. 3ГД1 — 3ГД9 — 3ГД28.
5. 2ГД3 — 2ГД7 — 2ГД19.
6. 3ГД15 — ВГД2 — 1ГД3РР3 — (ВГД1).

Что касается зарубежных громкоговорителей, могущих оказаться у радиолюбителей, то дать рекомендации по конкретным типам совершенно немыслимо, однако применять их можно после точного определения их характеристик.

25. КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМ И МАТЕРИАЛЫ

При постройке акустической системы некоторые элементы радиолюбителю приходится изготовлять самостоятельно. К ним относятся обычно футляр, передний щит (экран), задняя стенка, акустические перегородки, резонаторы и некоторые другие.

Для изготовления используются самые различные материалы, поэтому здесь мы рассмотрим особенности некоторых конструктивных элементов Hi-Fi акустических систем и дадим рекомендации по выбору материалов для них.

Футляр акустического агрегата «открытого» типа обычно изготовляется из многослойной фанеры. В принципе его можно делать из досок, однако в этом случае при усыхании неизбежно значительное коробление его стенок и появление в них трещин. Мы рекомендуем во всех случаях фанеру.

Фанера должна быть предварительно хорошо просушена и выдержана по возможности большее время, лучше всего 1—2 месяца. За это время часть листов может покоробиться, поэтому после выдерживания нужно отобрать наиболее ровный лист.

После вырезания заготовок, выпиливания шипов и подгонки всех стенок будущий футляр разбирают и фанеруют каждую плоскость о б я з а т е л ь н о с д в у х с т о р о н, иначе после окончательной сборки футляр «поведет». При сборке футляра нужно добиться того, чтобы его каркас без переднего щита и задней стенки был надежно склеен и не перекашивался даже от приложения значительных перекашивающих усилий. В случае необходимости стенки футляра нужно скрепить изнутри по углам дополнительными брусками.

Мы умышленно так подробно говорим об этом, так как дальнейшую работу можно производить только после того, как будет окончательно собран каркас.

Передний щит [1] также может быть изготовлен из фанеры, однако для систем «открытого» типа мы рекомендуем изготовлять его из отдельных брусков «музыкальной» ели.

Для предотвращения многократных отражений звука в самом футляре всю его внутреннюю поверхность нужно обязательно оклеить звукопоглощающим материалом. Лучше всего для этого применить рыхлый войлок или специально сделанные стеганые ватные листы в марлевых мешках. Можно, в крайнем случае, применить обычный ватин или толстое шинельное сукно. Микропористая листовая резина и пенопласт для этой цели непригодны.

Перфорированная задняя стенка (или решетка) служит для защиты громкоговорителей и других узлов, находящихся внутри футляра (например, разделительных фильтров) от механических повреждений. Она должна свободно пропускать звуковые волны из агрегата.

В системах открытого типа автор использует несколько необычную конструкцию задней стенки. Он применяет для ее изготовления фигурные литые упаковочные прокладки из-под яиц, имеющиеся в любом продовольственном магазине.

С более гладкой стороны прокладки нужно острым ножом срезать все выступы, и этой же стороной приложить оставшуюся ее часть к фанерной заготовке задней стенки с внутренней стороны. Там, где после срезания выступов в прокладке оказались отверстия, нужно проделать отверстия и в задней стенке футляра.

После вырезания отверстий в задней стенке и окончательной подгонки заготовленных картонок-прокладок (а их обычно требуется 3—4 шт. на один футляр), заднюю стенку обтягивают изнутри редкой марлей, приклеивая ее только по краям, и красят вместе с марлей темной морилкой.

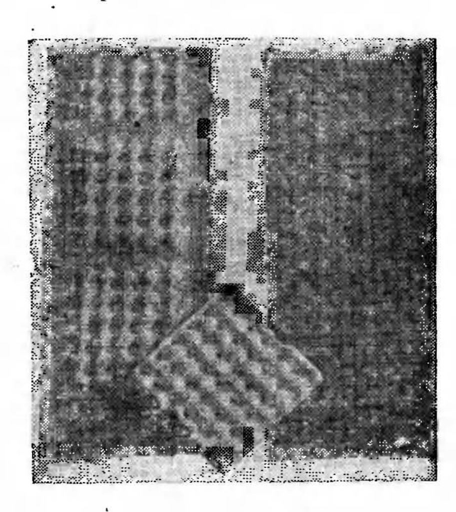


Рис. 62. Конструкция задней стенки акустического агрегата открытого типа с рассеивателем звуковых волн.

После тщательного просушивания фанеры к ней изнутри окончательно приклеивают картонные заготовки. В результате такая задняя стенка, свободно пропуская звуковые волны из футляра через отверстия, в то же время хорошо рассеивает их внутри футляра. На рис. 62 приведена фотография такой собранной задней стенки и ее заготовок.

Футляры акустических агрегатов «закрытого» типа изготовлять гораздо проще. В этом случае почти не имеют значения ни форма, ни размеры футляра, ни материал, из которого он сделан. Лучше всего такой футляр делать из древесноволокнистых, древесностружечных, древесноопилочных плит, досок деревьев лиственных пород или толстой (12—20 *мм*) фанеры.

Ящик собирают глухим, пятистенным, на шипах с посадкой на столярный или казеиновый клей, без переднего щита. Всю внутреннюю поверхность ящика оклеивают листовой микропористой резиной толщиной 8—12 *мм*, а затем заполняют хорошо разрыхленной ватой, ни в коем случае не утрамбовывая ее и не стараясь уместить в футляр побольше ваты. В данном случае большое количество ваты совсем не улучшает качества звучания.

---

[1] Подробнее описание конструкции переднего щита можно найти в книге Г. С. Гендина «Высококачественные любительские усилители низкой частоты», изд. 2-е, изд-во «Энергия», 1968.

Громкоговорители перед установкой на щит помещают в марлевые мешки, которые со стороны магнита собирают в пучок и завязывают или зашивают нитками. Марлевый мешок с задней стороны громкоговорителя должен быть достаточно сильно натянут, чтобы он не промялся ватой и не коснулся мембраны (конуса) громкоговорителя, когда передняя стенка будет установлена на место.

В отличие от систем открытого типа, здесь съемным является передний щит. В процессе сборки он привинчивается к футляру с помощью шурупов.

Раньше мы упоминали о резонаторах, необходимость в которых может возникнуть при налаживании акустического агрегата открытого типа при наличии значительных провалов в частотной характеристике агрегата на отдельных частотах.

Самый простейший резонатор может быть изготовлен из отрезка пластмассовой или металлической трубы, настроенного на нужную частоту. Настройка может производиться и вне агрегата, на лабораторном столе.

Кусок трубы диаметром 30—100 *мм* (в зависимости от частоты) наглухо закрывают с одной стороны (лучше всего приварить плоское дно из того же материала), устанавливают вертикально на столе, подносят к его открытому краю громкоговоритель небольшого размера, подключенный к звуковому генератору, и при очень небольшой громкости плавно изменяют частоту генератора.

При совпадении частоты генератора с собственной частотой внутреннего объема резонатора громкость звука заметно возрастает.

Для настройки резонатора на нужную частоту в него понемногу доливают воду. При этом резонансная частота повышается. После точной настройки измеряют высоту резонансной полости от поверхности воды до верхней кромки трубы и, вылив воду, отпиливают лишнюю часть трубы. Настроенный резонатор наглухо прикрепляют к днищу агрегата в вертикальном положении.

Рис. 63. Конструкция акустического агрегата с экраном-волноводом для высокочастотного излучателя.

Особо следует остановиться на акустических разделителях и перегородках, нередко применяемых в многополосных акустических системах.

При отсутствии таких разделителей и неоптимальном расположении громкоговорителей не всегда удается получить чистое раздельное звучание отдельных инструментов и их групп, несмотря на наличие электрических разделительных фильтров.

Объясняется это взаимной акустической связью громкоговорителей, относящихся к разным частотным группам.

Так, например, колебания конуса мощного низкочастотного громкоговорителя через воздушную среду передаются на легкоподвижный высокочастотный излучатель. При этом на его колебания, обусловленные подводимым высокочастотным электрическим сигналом, накладываются паразитные низкочастотные. В результате он начинает излучать не чистый ВЧ сигнал, а сигнал, модулированный низкой частотой. Возникают так называемые интермодуляционные искажения.

Чтобы избежать этого, в хороших агрегатах изолируют небольшую часть внутреннего объема футляра, внутри которого расположены ВЧ излучатели. Такую изоляцию можно осуществить двумя способами.

В первом случае на щит устанавливают полый открытый с двух сторон металлический стакан (отрезок трубы) таким образом, чтобы ВЧ излучатель оказался внутри стакана, как это показано схематически на рис. 63. Задняя часть трубы должна быть открыта, для чего в задней стенке футляра делают отверстие по диаметру трубы.

На каждый ВЧ громкоговоритель надевается отдельный стакан, причем желательно внутреннюю и наружную поверхности каждого из них оклеить звукопоглощающим материалом. Размеры стакана выбирают с таким расчетом, чтобы он случайно не оказался резонатором в рабочем диапазоне ВЧ излучателя, особенно на частоте собственного механического резонанса последнего.

По другому способу ту часть внутреннего объема агрегата, где расположены ВЧ излучатели (обычно $^1/_4$—$^1/_5$ часть по высоте), отделяют от остального объема глухой фанерной перегородкой, оклеенной с двух сторон звукопоглощающим материалом. Еще лучше вместо фанеры использовать тонкий листовой пенопласт.

26. ОСОБЕННОСТИ СБОРКИ И РЕГУЛИРОВКИ

Качество звучания Hi-Fi акустического агрегата в значительной мере зависит от того, насколько тщательно и аккуратно он собран и отрегулирован. Наиболее часто встречающийся в радиолюбительских конструкциях недостаток — различного рода дребезжания и призвуки, вызываемые колебаниями отдельных элементов агрегата на резонансных частотах.

Выявление этих дребезжаний, нахождение и устранение их причины занимают много времени в процессе регулировки и налаживания агрегата, поэтому лучше заранее принять меры, уменьшающие возможность возникновения таких дефектов.

У каждого громкоговорителя перед его завязыванием в пылезащитный марлевый мешочек и установкой на щит нужно проверить наличие и плотность приклейки фетровых или картонных накладок по периферии конуса, а также убедиться, что внутренний диаметр кольца из этих прокладок в точности соответствует диаметру отверстия в щите. Совершенно недопустимо, чтобы второй диаметр был меньше первого. Громкоговоритель необходимо установить на щит строго по центру соответствующего отверстия.

Во время предварительного отбора и испытаний громкоговорителей нужно убедиться в отсутствии заеданий и царапаний звуковой катушки и прочности закрепления (приклеивания) магнитной системы, а также убедиться в соосности каркаса звуковой катушки и магнитной щели. Громкоговорители со смещенной внутри зазора звуковой катушкой даже при отсутствии явных заеданий использовать не следует.

Очень рекомендуем радиолюбителям стробоскопический метод проверки резонансов у подвижных элементов громкоговорителя. Для такой проверки нужно одновременно подключить к выходу звукового генератора (или УНЧ для мощных громкоговорителей) кроме испытуемого громкоговорителя контрольную неоновую лампу, дающую достаточную освещенность. Лампу, разумеется, нужно подключать через дополнительный повышающий трансформатор.

Медленно изменяя частоту генератора, освещают лампой узел крепления звуковой катушки, центрирующую шайбу, выводные провода звуковой катушки между пистонами на самом диффузоре и контактной планкой и другие подвижные элементы. В пульсирующем свете неоновой лампы очень хорошо видно, например, как на определенных частотах мягкие выводные провода изгибаются в сторону диффузора или корпуса громкоговорителя и, касаясь его, начинают дребезжать, что немедленно приводит к резкому увеличению к. н. и. на этой частоте.

Этот метод, кстати говоря, позволяет легко и быстро выявить и устранить причины дребезжаний в уже полностью собранном акустическом агрегате.

Каждый окончательно собранный и закрытый крышкой агрегат должен быть тщательно прослушан во всем рабочем диапазоне частот при номинальной мощности, а еще лучше — при мощности, равной 1,2—1,3 номинальной. Такое прослушивание нужно начинать с частоты более низкой, чем нижняя граница полосы пропускания агрегата, очень медленно повышая частоту и постоянно следя за величиной подводимой мощности.

При выявлении первого же постороннего призвука нужно приостановить прослушивание, найти и обязательно устранить причину, и только убедившись, что призвук пропал, продолжать дальнейшее прослушивание. Работа эта довольно кропотливая, но проделать ее нужно тщательно и полностью до конца.

Если на отдельных частотах источником постороннего призвука окажется сам громкоговоритель, причем явной причины дребезжания найти не удастся, надо попробовать заменить громкоговоритель другим того же типа.

Важнейшим моментом в регулировке звукового агрегата является фазировка громкоговорителей. Опытные радиолюбители наверняка достаточно хорошо знакомы с этой операцией, поэтому мы ограничимся приведением лишь нескольких советов.

Прежде всего фазировку надо начинать с основных, низкочастотных громкоговорителей. И хотя принято считать, что фазировку легко осуществить на слух, мы настоятельно рекомендуем применять для этой цели простейший прибор, состоящий из любого микрофона, любого, даже простейшего однокаскадного усилителя и любого милливольтметра переменного тока, тем более что фазировка ВЧ громкоговорителей без такого измерителя, на слух, все равно невозможна.

Один из основных НЧ громкоговорителей, если их два или больше, подключают к питающему шлангу агрегата напостоянно, окончательно, а другой соединяют с ним временно: параллельно или последовательно в зависимости от выбранной схемы.

Фазирование низкочастотной и среднечастотной групп лучше всего производить на частотах 200—600 *гц*, при выходной мощности не более 0,1 от номинальной. Установив какое-нибудь определенное выходное напряжение усилителя, подвешивают или устанавливают на расстоянии 1 — 1,5 *м* от переднего щита агрегата микрофон и замечают показание милливольтметра. Затем, не изменяя ни уровня и частоты сигнала, ни положения микрофона и агрегата, перепаивают выводы фазируемого (но не основного!) громкоговорителя наоборот и проверяют новое показание милливольтметра. Правильному, синфазному включению соответствует большее показание.

Таким же образом к уже сфазированным громкоговорителям постепенно подключают и остальные, причем мы рекомендуем вначале отдельно сфазировать между собой все громкоговорители внутри каждой отдельной последовательной или параллельной группы, и только потом фазировать и поочередно подключать каждую такую готовую группу к основным, низкочастотным громкоговорителям.

При фазировании громкоговорителей ВЧ группы вместо частот 200—600 *гц* нужно применять частоту 5—8 *кгц*. Еще раз подчеркиваем, что если НЧ громкоговорители еще можно сфазировать на слух, то ВЧ группы можно правильно включить только с помощью измерительного микрофона, особенно в системах с выносными ВЧ громкоговорителями.

После того как один из агрегатов полностью сфазирован, также фазируют другой и остальные агрегаты одной акустической системы. После этого агрегаты нужно сфазировать между собой и промаркировать.

Для этого два агрегата устанавливают рядом, и на расстоянии 1,5—2,0 *м* от измерительного микрофона включают вилки их соединительных шлангов наугад параллельно, отмечают показание милливольтметра, а затем, поменяв у любой из вилок концы наоборот, вновь отмечают показание прибора. Правильному, синфазному включению соответствует большее показание.

В таком положении один из штырьков (любой) у одной вилки и тот же, т. е. подключенный параллельно ему, штырек вилки другого агрегата должны быть одинаковым образом помечены. Автор рекомендует для этой цели высверливать на одной стороне пластмассового основания вилки небольшую лунку 3—4 *мм* сверлом на глубину 1—2 *мм* и заливать ее яркой нитрокраской. Такая метка обычно хорошо держится на вилке, а яркая краска напоминает о необходимости проверить правильность подключения соединительных шнуров к усилителю.

Впрочем, если радиолюбитель применяет стандартные, фабричные разъемы, у которых неправильное включение исключено, маркировать их не нужно, однако надо правильно подключить провода к штырькам разъема.

В заключение можно упомянуть о том, что иногда в мощных агрегатах причиной дребезжания может быть плохой механический контакт футляра агрегата с полом, особенно если агрегат стоит на ножках, а пол паркетный. В этом случае полезно на ножки агрегата снизу наклеить небольшие резиновые прокладки.

Глава пятая

ЛЮБИТЕЛЬСКИЕ НИЗКОЧАСТОТНЫЕ HI-FI УСТАНОВКИ

27. УСТАНОВКИ С ГОЛОВНЫМИ ТЕЛЕФОНАМИ

В этом параграфе описаны два довольно простых стереофонических усилителя, рассчитанных для работы на головные телефоны. Первый из них собран на лампах, второй — на транзисторах.

Ламповый усилитель, принципиальная схема которого приведена на рис. 64, имеет два одинаковых тракта, состоящих из четырех каскадов по системе «усилитель напряжения — фазоинвертор — предоконечный каскад — оконечный каскад». Такая система редко применяется для маломощных УНЧ, поэтому имеет смысл объяснить этот выбор.

Для высококачественного воспроизведения звука на электродинамические головные телефоны необходимо, как показывает опыт, иметь оконечный каскад, обеспечивающий неискаженную выходную мощность не менее 1,0 *вт* при к. н. и. не превышающем 2% в наихудшей точке.

Хотя это усилитель индивидуального пользования, его нужно рассчитывать по крайней мере на три пары головных телефонов по количеству возможных слушателей, поэтому требуемая неискаженная выходная мощность вырастает до 3—4 *вт*. Однотактная схема в этом случае оказывается довольно трудно осуществимой и очень не экономичной, поэтому оконечный каскад лучше делать двухтактным.

Мощность, равную 3 *вт* при к. н. и., не превышающем 1—2%, можно получить в двухтактной ультралинейной схеме на маломощных оконечных пентодах типа 6П15П, 6Ф3П, 6Ф5П. Последняя из ламп наиболее приемлема, так как, во-первых, допускает одинаковые напряжения на аноде и экранирующей сетке, что весьма удобно при ультралинейном включении оконечных ламп, и, во-вторых, содержит в одном баллоне кроме оконечного пентода еще и триод с очень хорошими характеристиками для предварительного усиления.

Последнее обстоятельство позволяет выполнить предоконечный каскад также по двухтактной схеме, что значительно снижает нелинейные искажения, проявляющиеся обычно уже на сетке оконечного каскада. Одновременно оказывается возможным фазоинвертор собрать на одном триоде с разделенными нагрузками, так как при малых уровнях выходного напряжения эта схема инвертора является лучшей.

Если для фазоинвертора использовать один триод лампы 6Н2П, то второй свободный триод сможет выполнять роль первого предварительного усилителя по обычной схеме с общим катодом.

При таком решении требуемые параметры усилителя получаются без труда с достаточными запасами, что позволяет использовать лампы без индивидуального подбора. Кроме того, значительно упрощается регулировка усилителя.

Рассмотрим подробнее схему. Сигнал с выхода звукоснимателя подается с помощью стандартного пятиконтактного разъема на входную цепь канала (правого или левого), состоящую из тонкомпенсированного регулятора громкости и корректирующей цепочки для пьезокерамического звукоснимателя. Тонкомпенсация выполнена по схеме

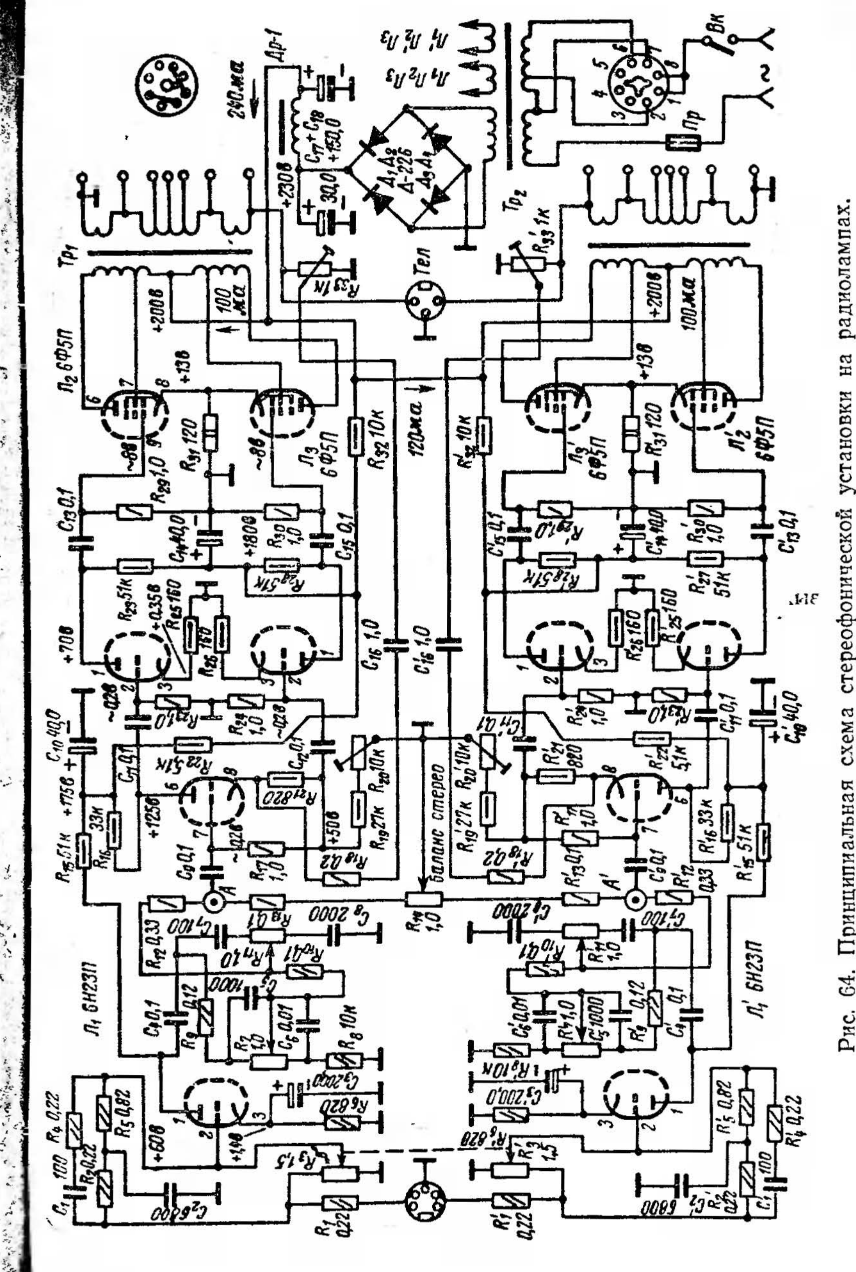


Рис. 64. Принципиальная схема стереофонической установки на радиолампах.

рис. 39, упрощенной путем использования обычных потенциометров без отводов.

Регулировка тембра выполнена по широко распространенной схеме с разделением спектра на два участка — выше и ниже частоты 1 000 *гц*, каждый из которых регулируется своим отдельным регулятором.

Формально усилитель можно разделить на две части. Первая из них кончается выходом регуляторов тембра (точка *А* на схеме), вторая начинается с этой точки, т. е. с сетки лампы фазоинвертора.

Вторая часть усилителя является широкополосной. Ее частотная характеристика имеет вид горизонтальной прямой. Для получения выходной мощности 4 *вт* к сетке фазоинвертора нужно подвести сигнал с напряжением 220 *мв*. Полоса пропускания электрического тракта широкополосной части 10—120 000 *гц* при неравномерности не более ±2 *дб* (измерена на эквиваленте нагрузки 10 *ом*). Номинальная выходная мощность 3 *вт* при к. н. и. ≤2% в наихудшей точке. Эти данные понадобятся радиолюбителю для поэтапного налаживания собранного усилителя.

Сквозные характеристики всего усилителя с входных гнезд следующие: чувствительность 150 *мв* на частоте 1 000 *гц*, полоса пропускания на уровне 0,7 по напряжению при регуляторах тембра в положении «подъем характеристики» 5—250 000 *гц*, глубина регулировки тембра ±14 *дб* на частотах ниже 80 *гц* и ±14 *дб* на частоте 12 *кгц*, глубина регулировки стереобаланса ≥ 10 *дб*, уровень собственных шумов и фона — 65 *дб*, переходное затухание между каналами при номинальной мощности одного из каналов — 40 *дб*.

Обратная связь в усилителе комбинированная. Помимо цепей отрицательной обратной связи по току, которой охвачен каждый каскад, кроме входного, имеется общая отрицательная обратная связь по напряжению, охватывающая весь УНЧ, начиная со второго каскада. Первый каскад исключен из области действия обратных связей для того, чтобы не уменьшать пределов регулировки тембра и не искажать характера тонкомпенсации. Такая система позволила получить очень широкую полосу пропускания УНЧ при небольшом к. н. и. и сохранить в то же время достаточную глубину и крутизну регулировок громкости и тембра.

Регуляторы громкости, тембра и стереобаланса вместе с относящимися к ним деталями собраны в отдельной металлической экранирующей коробочке, соединяющейся с печатной платой УНЧ очень короткими экранированными проводами. От длины этих проводов прямо зависит верхняя граница полосы пропускания УНЧ. В описываемой конструкции эта длина не превышает 50 *мм*.

Для повышения стабильности усилителя выводные лепестки анодов и сеток комбинированных ламп разделены непосредственно на панельках статическими экранчиками-перегородками, сделанными из полосок белой жести размером 5×15 *мм*. Эта мера предотвращает самовозбуждение усилителя на частотах 100—150 *кгц* при достаточно глубокой обратной связи.

Схема и конструкция блока питания могут быть любыми. Требуется лишь обеспечить указанные на схеме напряжения и токи. Приведенная на рис. 64 схема блока питания не является обязательной, но для тех, кто будет повторять усилитель полностью по описанию, приводим данные силового трансформатора. Железо Ш-28, толщина набора 40 *мм*, первичная обмотка состоит из двух секций: 420+60 витков провода ПЭВ-0,44 *мм* и 340 витков ПЭВ-0,31 *мм*, повышаю-

щая обмотка имеет 800 витков провода ПЭВ-0,2 *мм*, накальная — 26 витков провода ПЭВ-1,0 *мм*.

Выходной трансформатор собран на сердечнике из железа Ш-28, толщина набора 40 *мм*. Первичная обмотка состоит из двух секций по 1 200 витков провода ПЭВ-0,2 *мм* с отводами, вторичная разбита на три секции. Технология намотки трансформатора следующая: вначале на каркас наматывают одну секцию вторичной обмотки (30 витков), поверх нее одну секцию первичной обмотки, затем основную часть вторичной обмотки (60 витков провода ПЭВ-1,0 *мм* с отводами

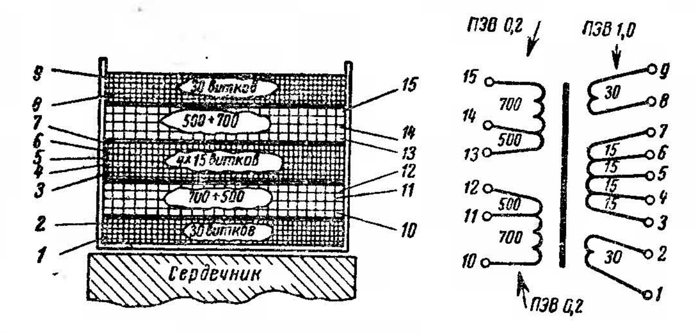


Рис. 65. Расположение обмоток на каркасе выходного трансформатора.

через 15 витков), после нее — вторую секцию первичной обмотки (1 200 витков) и, наконец, последнюю секцию вторичной обмотки (30 витков). Для большей наглядности расположение обмоток показано на рис. 65.

Налаживание усилителя начинают с проверки исправности блока питания и соответствия фактических режимов указанным на схеме. После этого разрывают монтаж в точке *А*, отпаивая для этого левый по схеме конец разделительного конденсатора C_9, разрывают в любом месте цепь регулировки глубины обратной связи, идущую на катод фазоинвертора, подключают ко всей вторичной обмотке эквивалент нагрузки в виде постоянного проволочного резистора сопротивлением 10—16 *ом* и параллельно ему измеритель нелинейных искажений, осциллограф и измеритель выхода (лучше всего ламповый вольтметр с соответствующим частотным диапазоном).

Затем подают сигнал от звукового генератора на отпаянный конец конденсатора C_9, установив частоту сигнала 1 000 *гц*, а уровень таким, чтобы на управляющей сетке одной из оконечных ламп получилось напряжение порядка 4—5 *в*.

После этого, проверяя ламповым вольтметром поочередно напряжение сигнала на управляющих сетках то одной, то другой оконечной лампы, вращают регулятор балансировки фазоинвертора R_{20} (не путать с регулятором стереобаланса!), добиваясь полного равенства этих напряжений с точностью до 1%.

Затем, не выключая усилителя, подключают цепь отрицательной обратной связи при среднем положении регулирующего потенциометра R_{33}. Если выходное напряжение на эквиваленте нагрузки при этом

уменьшится, значит, фаза обратной связи правильная. Если же выходной сигнал увеличится или усилитель самовозбудится на звуковой частоте, полярность включения выходной обмотки нужно изменить на обратную, заземлив другой, противоположный конец.

После этого с помощью потенциометра R_{33} устанавливают чувствительность всего усилителя в целом, для чего сигнал от генератора подают на входное гнездо усилителя, конденсатор C_9 припаивают на место, регуляторы громкости и тембра устанавливают в положение максимального усиления, регулятор стереобаланса — точно

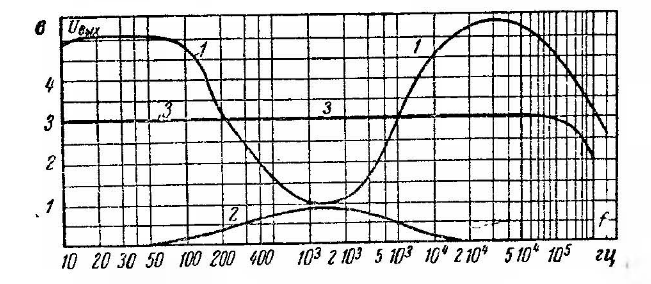


Рис. 66. Частотные характеристики усилителя.

1 — широкая полоса и максимальная громкость; *2* — узкая полоса; *3* — от точки *А* (без первого каскада и цепей регулировки тембра).

в среднее положение. На частоте 1 000 *гц* устанавливают выходное напряжение генератора равным 100 *мв*, а ручку потенциометра R_{33} вращают до получения на эквиваленте нагрузки номинальной выходной мощности.

По окончании этой регулировки в той же последовательности регулируют второй канал, после чего снимают все характеристики усилителя, сравнивая между собой соответствующие характеристики обоих каналов, а также проверяя, соответствуют ли они приведенным в описании.

Значительные отклонения фактических характеристик от описанных выше могут быть вызваны неправильным включением обмоток выходного трансформатора, неверной полярностью обратной связи, ошибками в номиналах конденсаторов и резисторов и, наконец, ошибками самих измерений (например, неправильным считыванием показаний милливольтметра, неточной балансировкой измерителя нелинейных искажений и т. п.).

Правильно смонтированный усилитель должен заработать сразу и регулируется без труда. Режимы всех ламп указаны на принципиальной схеме, а частотные характеристики изображены на рис. 66.

Вторая установка, принципиальная схема которой приведена на рис. 67, также стереофоническая, содержит два усилительных тракта. Каждый усилитель состоит из четырех каскадов. Выход усилителя — двухтактный, бестрансформаторный на транзисторах типа 1Т403А. Первый каскад предназначается для работы только от электромагнитного или электродинамического звукоснимателя, имеющего по сравнению с пьезокерамическим значительно меньшее выходное напряжение (приблизительно 5—10 *мв* вместо 0,25—0,5 *в*) и мень-

Рис. 67. Принципиальная схема стереоусилителя на транзисторах.

шее внутреннее сопротивление (сотни *ом* вместо 0,5—2,0 *Мом*). Если радиолюбитель не предполагает пользоваться таким звукоснимателем, то первый усилительный каскад можно исключить.

Усилитель имеет следующие параметры. Чувствительность на частоте 1 000 *гц* со входа I — 10 *мв*, со входа II — 180 *мв*. Номинальная выходная мощность 1,5 *вт* при к.н.и. $\leqslant 3\%$ на частотах 400, 1 000 и 5 000 *гц*. Регулировка громкости тонкомпенсированная, регулировка тембра — плавная раздельная по высоким и низким частотам. Глубина регулировки тембра на частотах 100 и 8 000 *гц* составляет ± 10 *дб*, полоса пропускания 40—22 000 *гц* при неравномерности ± 3 *дб*. Сопротивление нагрузки мало критично в интервале от 4,5 до 20 *ом*.

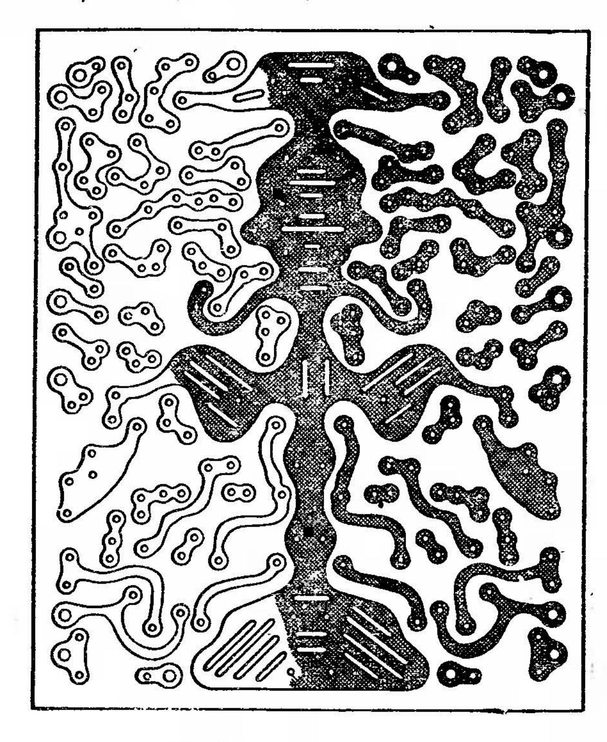


Рис 68. Печатная плата усилителя.

Усилитель собран на одной общей печатной плате, изображенной в натуральную величину на рис. 68. По своему усмотрению радиолюбитель может применить все резисторы типа УЛМ-0,12 *вт*, МЛТ-0,125 *вт* или МЛТ-0,5 *вт*. В последнем случае часть из них будет нужно установить вертикально, как при объемном печатном монтаже.

Резисторы R_{29} и R_{31} — самодельные, проволочные, намотанные в один ряд на корпусе резисторов типа ВС-0,25 любого номинала.

Величина емкости разделительного конденсатора в цепи головных телефонов зависит от величины сопротивления телефонов и нижней границы полосы воспроизведения, однако практически конденсатор емкостью в 2 000 *мкф* достаточен для любых случаев. Его рабочее напряжение должно быть не ниже 20 *в*.

Налаживание усилителя и снятие его характеристик производятся как обычно за исключением одной особенности, на которую нужно обратить особое внимание. Дело в том, что резистор нагрузки транзистора T_3 для уменьшения нелинейных искажений разбит на две неравные части, причем сопротивление меньшей из них (R_{26}) составляет всего 68 *ом*. Это значение очень критично. Малейшие отклонения от него вызывают очень резкое изменение тока покоя транзисторов оконечного каскада вплоть до значений, превосходящих допустимые, например изменение сопротивления этого резистора от 62 до 120 *ом* приводит к возрастанию тока покоя оконечного каскада от 5 до 80 *ма*.

При регулировке усилителя на место резистора R_{26} лучше всего временно установить проволочный потенциометр сопротивлением не более 100 *ом*, включенный реостатом, и начинать регулировку при его нулевом значении. В цепь питания усилителя должен быть обязательно включен миллиамперметр, по которому надо все время наблюдать за током, потребляемым регулируемым каналом. Второй канал на это время лучше отключить.

При замкнутом резисторе R_{26} ток покоя одного канала составляет единицы миллиампер. Если это не так, то прежде чем продолжать регулировку, нужно найти и устранить причину несоответствия.

Подбор оптимального сопротивления резистора R_{26} производят по минимальному значению к. н. и. при очень маленьком сигнале. Обращаем на это особое внимание: наихудшее значение к. н. и. имеет не при максимальной выходной мощности, а при мощности порядка 20—50 *мвт*. Увеличение значения R_{26} возможно только до тех пор, пока значение тока покоя оконечного каскада одного канала (т. е. при отсутствии сигнала) не превысит 10—12 *ма*. После окончания подбора на место регулировочного потенциометра устанавливают постоянный резистор, имеющий точно такое же сопротивление. Нужное значение сопротивления можно получить параллельным включением двух резисторов с различными сопротивлениями.

Оконечные транзисторы размещены на теплоотводящих радиаторах. Их конструкция и форма могут быть любыми. Минимальная суммарная площадь охлаждающих поверхностей каждого радиатора составляет 150 *см*². На одном из радиаторов в каждом канале устанавливают терморезистор R_{23} типа ММТ-1, причем точное расположение этого резистора на радиаторе и расстояние между ним и радиатором подбирают опытным путем по получению наилучшей термостабилизации. Дело это довольно кропотливое, однако мы рекомендуем радиолюбителям довести его до конца, чтобы быть спокойным за надежность работы усилителя при изменении окружающей температуры. При правильном выборе места для терморезистора усилитель стабильно работает длительное время в интервале температур окружающего воздуха от —10 до +55° С.

Оба усилителя (ламповый и транзисторный) наиболее целесообразно встроить в небольшую коробку вместе с электропроигрывающим устройством. Такая комбинация, называемая теперь электрофоном, наиболее оправдана для систем с головными телефонами.

Первый усилитель рассчитан на питание от сети переменного тока, поэтому его лучше всего сочетать с отечественными электропроигрывающими платами типа I-ЭПУ-72С, II-ЭПУ-32С или II-ЭПУ-22-4. Второй усилитель можно применить в батарейном переносном электрофоне совместно с платой типа III-ЭПУ-16-3-9, рассчитанной на питание от источника постоянного тока напряжением 9,0 *в*. Правда, в этой плате устанавливается звукосниматель с обычной монофонической головкой, поэтому ее придется заменить на одну из отечественных стереофонических головок, используемых в перечисленных выше сетевых платах.

Питание второго усилителя — комбинированное. В блоке питания имеется стабилизированный выпрямитель на 24 *в*, позволяющий электрофону работать от сети переменного тока или от комплекта из 12 батарей типа «Марс» или «Сатурн» с выходным напряжением 18 *в*. В последнем случае выходная мощность усилителя понижается до 1,0 *вт*.

Двигатель ЭПУ при работе от сети питается через гасящий резистор от общего стабилизированного выпрямителя, а в батарейном режиме — от полукомплекта батарей, причем в схеме предусмотрен переключатель, позволяющий по мере израсходования энергии батарей изменять напряжение питания двигателя на 1,5 *в*.

Мы не приводим здесь подробного описания работы и конструкций обоих усилителей, поскольку для квалифицированных радиолюбителей, на которых рассчитана эта брошюра, усилители достаточно просты. Что же касается акустических систем, то их следует рассмотреть подробней.

Дело в том, что хотя описываемые в этом параграфе усилители и названы «системами с головными телефонами», на самом деле это не следует понимать буквально, потому что даже лучшие отечественные головные телефоны («наушники») имеют частотные характеристики, не только не удовлетворяющие требованиям на Hi-Fi аппаратуру, но непригодные даже для простейших приемников III класса.

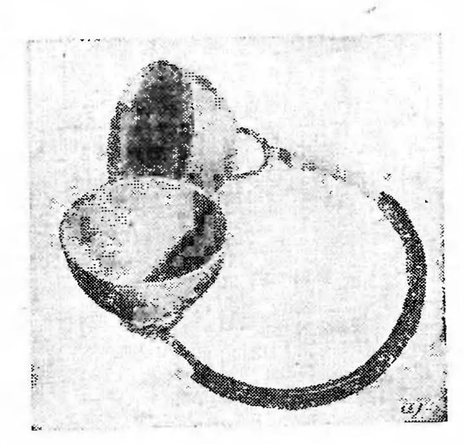
Поэтому, предлагая радиолюбителям описываемые усилители, мы имели в виду, что излучатели для них придется изготовлять самостоятельно из обычных малогабаритных громкоговорителей электродинамической системы. Из имеющихся сейчас в продаже наиболее подходящими для этой цели можно считать громкоговорители типов 1ГД4 и 0,5ГД21. И хотя их характеристики далеки от идеальных, тем не менее с ними удается получить удовлетворительное звучание.

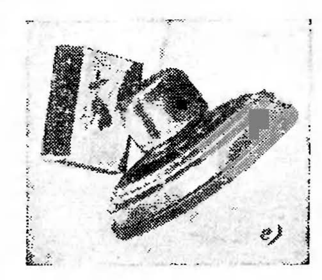
Если этих громкоговорителей приобрести не удастся, то в самом крайнем случае для стадии экспериментов можно сделать излучатель из двух громкоговорителей типа 1ГД28 с резонансной частотой 100 *гц*.

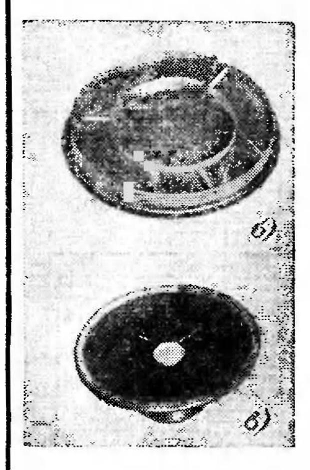
Конструкция оголовья в общем не критична и должна удовлетворять двум условиям: быть удобной для слушателя и обеспечивать возможность регулировки положения громкоговорителей хотя бы в двух направлениях. Сами громкоговорители обязательно нужно поместить в специальные кассеты с мягкой поверхностью, об устройстве которых мы расскажем дальше.

На рис. 69 показаны устройство отдельных деталей и общий вид головных телефонов, изготовленных автором. Оголовье использовано от промышленных головных телефонов. К нему шарнирно крепятся корпуса наушников (рис. 69, *а*), в качестве которых автор использовал пластмассовые чашки от бритвенного прибора наружным диаметром 94 *мм*.

Эти чашки являются несущими. К ним с помощью трех винтов привинчиваются платформы из плексигласа для крепления громкоговорителей (рис. 69, *б*). Как видно из рисунка, с наружной стороны к этим платформам приклеены защитная металлическая сетка и уплотняющее кольцо из микропористой резины или поролона.







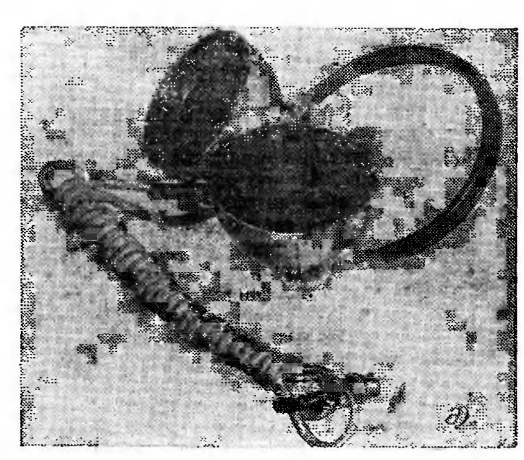


Рис. 69. Общий вид и детали головных телефонов.

а — оголовье с корпусами-держателями телефонов; *б* — платформа для крепления громкоговорителей с защитной сеткой и уплотнителем; *в* — громкоговоритель типа 0,5ГД-20; *г* — собранный узел одного наушника с платформой; *д* — общий вид полностью собранных телефонов.

Внешний вид использованного автором громкоговорителя типа 0,5ГД-20 (от радиоприемника «Сокол-4» или «Спорт-2») приведен на рис. 69, *в*, а принцип сборки всего узла излучателя понятен из рис. 69, *г*.

Общий вид полностью собранного комплекта стереофонических головных телефонов вместе с соединительными шлангами приведен на рис. 69, *д*. После припайки концов соединительного шланга к выводам звуковой катушки громкоговорителей нужно принять меры, предотвращающие обрыв и выдергивание шланга из пластмассовых чашек наушников (например, закрепить конец шланга толстыми нитками или изоляционной лентой).

Несмотря на некоторую кустарность такой конструкции, она довольно удобна в эксплуатации. Разумеется, каждый может изготовить головные телефоны и иначе, по своему усмотрению. Напомним в заключение, что как и в любой другой акустической системе, оба громкоговорителя нужно правильно сфазировать. Для этого их на время включают параллельно и, надев оголовье, подают от звукового генератора сигнал частотой 200—400 *гц* и очень небольшим уровнем. Переключая полярность одного из громкоговорителей (любого), добиваются большей громкости при неизменном подводимом сигнале.

После окончания фазировки выводные концы шнура должны быть либо четко помечены, либо распаяны на соответствующие штырьки стандартного разъема.

28. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ ДЛЯ СТЕРЕОФОНИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ЭКСТРА-КЛАССА

Этот усилитель предназначен для комплектования низкочастотной Hi-Fi установки «экстра-класса», однако его схема и конструкция позволяют использовать усилитель и автономно, как с головными телефонами, так и с небольшими громкоговорящими акустическими системами.

Такая универсальность особенно выгодна для радиолюбительских конструкций, так как позволяет на основе одного усилителя собирать целый ряд установок высококачественного звучания.

В разработанной автором модели этот усилитель содержит экспандер, наличие которого обязательно в соответствии с предложенной нами же классификацией для установок «экстра-класса». Однако здесь описан упрощенный вариант, не содержащий экспандера, так как иначе усилитель оказывается недопустимо сложным даже для большинства квалифицированных радиолюбителей и трудно повторимым по краткому описанию. Такое упрощение никак не отразилось на характеристиках и параметрах установки, за исключением динамического диапазона.

Усилитель имеет следующие характеристики. Число стереотрактов — 2. Число полосных усилителей внутри каждого из стереотрактов — 2. Количество независимых входов в каждом из стереотрактов — 5. Количество независимых выходов — 4. Регулировка громкости — общая для всего усилителя, тонкомпенсированная, с двумя переключаемыми характеристиками тонкомпенсации и пять индивидуальных регуляторов уровня для каждого отдельного входа смесительного блока. Регулировка тембра — с помощью тон-регистра, имеющего пять фиксированных и четыре плавных регулятора частотной характеристики. Регулировка стереобаланса — с оптической индикацией.

Электрические характеристики: максимальная полоса пропускания по электрическому тракту от 5 до 250 000 *гц* на уровне 0,7 от значения коэффициента усиления для частоты 1 000 *гц* (измеренная на активном сопротивлении нагрузки — эквиваленте). Выходная мощность каждого из стереоканалов — 8 *вт* на низкочастотном и 3,0 *вт* на высокочастотном выходе.

Коэффициент нелинейных искажений менее 1%. Относительный уровень собственных шумов и фона не хуже —70 *дб*. Глубина регулировки тембра на внешних границах слышимого диапазона частот (частоты 15 *гц* и 20 *кгц*) не менее 20 *дб*. Чувствительность с каждого входа устанавливается при регулировке в соответствии с номинальными значениями выходного напряжения используемых источников сигнала в пределах от 10 *мв* до 30 *в*.

Выходы усилителя рассчитаны на подключение к нему мощного оконечного УНЧ (выходное напряжение плавно регулируется в пределах от 0 до 100 *в* для низкочастотного и от 0 до 20 *в* для высокочастотного каналов), или небольших двухполосных громкоговорящих акустических систем с мощностью 2×10 *вт* или пяти пар головных телефонов, подобных описанным в предыдущем параграфе.

Конструктивно усилитель состоит из четырех блоков: смесительного устройства, блока регулировок с усилителем напряжения, выходного блока с коммутатором нагрузок и блока питания и индикации. Поскольку усилитель сложен, мы будем рассматривать его отдельно по блокам и в соответствии с этим вместо общей полной принципиальной схемы приведем отдельные схемы составляющих блоков.

Блок первый — смесительное устройство. Его принципиальная схема приведена на рис. 70. Из схемы видно, что входные цепи усилителя содержат корректирующие *RC*-цепочки для уравнивания величины сигнала и приведения частотных характеристик разных источников сигнала к одной форме. Выход каждой из таких цепочек нагружен на самостоятельный регулятор уровня (потенциометры R_4, R_8, R_9, R_{11} и R_{22}). Входная цепь звукоснимателя имеет кроме корректирующей цепочки дополнительный усилительный каскад на левом по схеме триоде лампы $Л_1$, включенный перед регулятором уровня (R_{22}), так как сигнал, отдаваемый электромагнитным или электродинамическим звукоснимателем, обычно не превышает 5—10 *мв*.

Выходы всех индивидуальных регуляторов уровня через выключатели и разделительные стабилизирующие резисторы (R_7, R_{12}, R_{13}, R_{14} и R_{16}) нагружены на один общий установочный регулятор усиления (R_{15}), с движка которого сигнал снимается на общий усилительный каскад, собранный на правом по схеме триоде лампы $Л_1$. Конструктивно выключатели спарены со сдвоенными потенциометрами, регулирующими уровень соответствующего сигнала одновременно в обоих каналах.

Регулятор усиления R_{15} не является регулятором громкости, а служит только для первоначальной установки чувствительности усилителя в целом, поэтому его ось выведена на шасси первого блока под шлиц. По этой же причине переменный резистор должен быть линейным, т. е. с буквой *А* на крышке его корпуса.

После общего усиления сигнал попадает на сетку лампы $Л_2$, каждый триод которой работает катодным повторителем соответственно в левом и правом каналах. С нагрузки катодного повторителя сигнал через разделительный конденсатор C_{15} подводится к стандартному экранированному разъему, обозначенному на схеме буквой *А*.

Для уменьшения уровня фона накалы ламп $Л_1$ и $Л_1'$ питаются от отдельных обмоток силового трансформатора пониженным напряже-

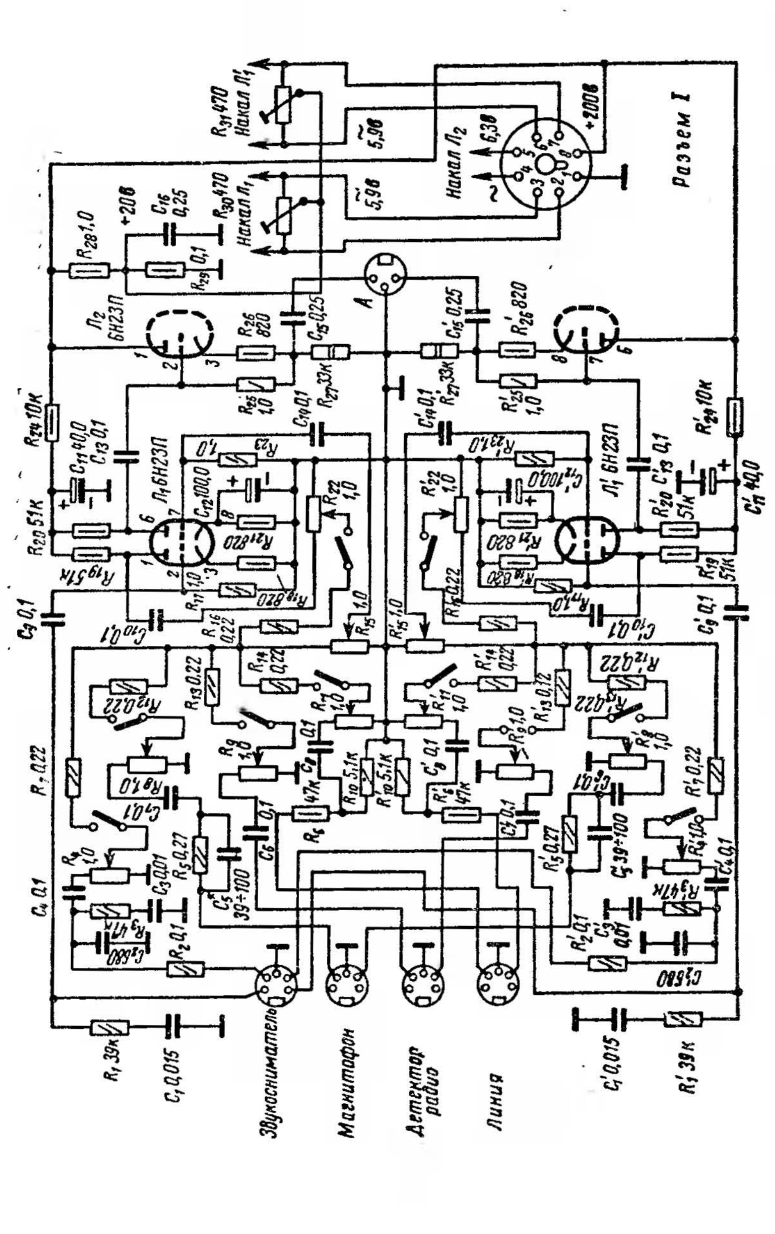


Рис. 70. Двухполосная стереофоническая установка. Блок первый: смесительно-коммутационное устройство.

нием (~5,9 *в*), причем в цепь накала вводится положительный потенциал порядка 20 *в* относительно корпуса (шасси). С помощью балансировочного потенциометра (R_{30} или R_{31}) добиваются минимального уровня фона. Оба балансировочных потенциометра расположены на шасси смесительного блока непосредственно возле соответствующих ламп, а их оси выведены под шлиц.

Основное внимание нужно обратить на монтаж этого блока. Именно этим и будет определяться уровень фона и шумов усилителя и в значительной мере — границы его полосы пропускания. Поэтому прежде всего запомните: внутри блока ни один провод и ни одну деталь нельзя соединять с шасси!

Шасси блока представляет собой сплошную железную коробку, наглухо закрываемую сплошным привинчивающимся железным поддоном без вентиляционных и каких-либо иных отверстий. Корпусы всех стандартных разъемов закреплены на одной из торцевых сторон шасси, а все регулируемые потенциометры — на противоположной торцевой стороне.

Ламповые панели — типа ПЛК-9-Э. На лампы надеты алюминиевые экраны. Провода накала свиты по два и помещены в металлическую заземленную экранирующую оплетку.

Общий («земляной») провод выполнен в виде изолированной от шасси шины. В качестве шины используют толстый (1,0—1,5 *мм*) посеребренный медный провод. Корпуса электролитических конденсаторов изолированы от шасси.

Электрическая часть схемы не содержит каких-либо тонкостей и особенностей, поэтому нет необходимости давать опытным радиолюбителям иные пояснения, кроме уже приведенных.

Блок второй — усилитель напряжения и тон-регистр. Вход этого блока (рис. 71) начинается с коммутаторов $П_1$ и $П_2$. С помощью коммутатора $П_1$ достигается включение первого или второго усилительного тракта. При нажатии кнопки «левый» сигнал с входного гнезда подводится к «левому» усилителю, а «правый» усилитель при этом не подключен. Нажатием кнопки «правый» включается «правый» усилитель и отключается «левый». При нажатии кнопки «стерео» сигнал от «левого» входного контакта попадает на «левый» усилитель, а от «правого» — на правый, причем усилители между собой разобщены.

Наконец, при одновременном нажатии кнопок «правый» и «левый» оба сигнала от входного разъема одновременно попадают и на «правый» и на «левый» усилители, т. е. установка превращается в монофоническую с разнесенными акустическими системами.

С выхода коммутатора $П_1$ сигналы попадают на тонкомпенсированные регуляторы громкости R_2 и R'_2. Особенность схемы регуляторов громкости — наличие двух разных систем тонкомпенсации, коммутируемых кнопочным переключателем $П_2$.

Необходимость такого решения вытекает из следующих соображений. По принятой нами ранее классификации частотные характеристики тонкомпенсации для усилителей «экстра-класса» не должны отличаться от кривых равной громкости более чем на 10%. В то же время каждая кривая этого семейства строго соответствует определенному уровню сигнала. Это значит, что регулятор громкости не будет вносить субъективных искажений тембра при регулировании громкости только в том случае, если в его начальном положении, при котором мы устанавливаем тон-регистром желаемый исходный тембр

Рис. 71. Блок второй: усилители напряжеиия и тон-регистр.

звучания, характеристика тонкомпенсации точно соответствует абсолютному уровню громкости передачи.

Ясно, что на практике такого соответствия почти никогда не бывает, поэтому при регулировании громкости наблюдается заметное на слух изменение тембра звучания. Чтобы предельно уменьшить такое влияние, в схеме усилителя предусмотрены две системы тонкомпенсации.

Если начальную регулировку тембра производят в положении регулятора громкости, близком к максимальному, нужно пользоваться схемой тонкомпенсации, подключаемой нажимом кнопки *I* коммутатора $П_2$. При исходном положении регулятора громкости, близком к среднему, нажимают кнопку *II*. Помимо этих кнопок коммутатор $П_2$ имеет кнопку *O*, при нажатии которой от регулятора громкости полностью отключаются все цепи тонкомпенсации. Этой кнопкой приходится пользоваться, когда через усилитель осуществляют запись на магнитофоне, и регулирование уровня сигнала не должно сопровождаться изменением его спектра.

С выхода регулятора громкости сигналы соответствующих каналов попадают на сетки триодов лампы $Л_1$ 6Н23П, работающей обычным усилителем напряжения. После усиления сигнал попадает на делитель, состоящий из резисторов R_{11}, R_{12}, R_{13}, нижнее плечо которого является регулятором стереобаланса.

При выбранных значениях сопротивлений глубина регулирования составляет 10 *дб*, что на практике вполне достаточно. Впрочем, при желании или необходимости этот предел можно расширить на сколько угодно, вплоть до полного запирания одного канала при максимальном усилении другого. Для этого достаточно уменьшить сопротивление резистора R_{12}.

Дальше сигнал попадает на вход третьего коммутатора — $П_3$, являющегося переключателем тон-регистра. Переключатель имеет пять положений: «Речь», «Симфония», «Джаз», «Интим» и «Тембр плавно». При нажатии кнопки «Речь» в цепь прохождения сигнала включается последовательно конденсатор C_{24} емкостью 3 600 *пф*, ограничивающий полосу пропускания снизу частотами 100—120 *гц*, а также установочный потенциометр R_{36} и конденсатор C_{25}. Потенциометром устанавливают при регулировке усилителя нужную величину сигнала, а конденсатор C_{25} ограничивает верхнюю границу полосы пропускания частотой 8 *кгц*. В этом положении переключателя сигнал с выхода коммутатора подводится для дальнейшего усиления только к низкочастотному каналу, а высокочастотный канал не используется.

При нажатии кнопки «Симфония» частотная характеристика блока регулировок остается совершенно линейной во всей полосе частот, пропускаемых усилителем, при этом уровень сигнала, снимаемого для дальнейшего усиления, регулируется в низкочастотном канале установочным потенциометром R_{33}, а в высокочастотном — потенциометром R_{34}.

Аналогичным образом при нажатии кнопки «Джаз» формируется частотная характеристика с большими подъемами на низших (20—80 *гц*) и высших (5—20 *кгц*) частотах, а при нажатии кнопки «Интим» — характеристика с большим подъемом низких частот в области 30—120 *гц* и значительным спадом коэффициента передачи на частотах свыше 4 *кгц*.

Наконец, при нажатии кнопки «Тембр плавно» все фиксированные цепи формирования частотной характеристики УНЧ отключаются, и слушатель получает возможность сформировать частотную характеристику по своему усмотрению, пользуясь четырьмя регуляторами тембра. Первый из них (потенциометр R_{15}) регулирует область от 10 до 100 *гц*, второй (R_{16}) — от 100 до 1 000 *гц*, третий (R_{18}) — от 1 до 8 *кгц* и четвертый (R_{21}) — на частотах свыше 8 *кгц*.

Сигнал с выхода первых двух регуляторов попадает только в низкочастотный полосный усилитель, с третьего регулятора — и в низкочастотный и в высокочастотный полосный усилитель, а с четвертого — только в высокочастотный.

Наличие установочных потенциометров в схеме тон-регистра позволяет при регулировке усилителя установить для условной средней частоты 1 000 *гц* одинаковые уровни выходного сигнала, поэтому при переключении кнопок тон-регистра во время передачи изменяется только тембровая окраска звука и не меняется его относительный уровень громкости.

Сформированные сигналы в каждом канале поступают для дальнейшего усиления на лампу $Л_2$ (или $Л_3$), один из триодов которой работает в низкочастотном, другой — в высокочастотном полосном усилителях. Эти усилительные каскады имеют частотные характеристики, соответствующие спектру пропускаемых сигналов. В нерабочей части характеристика каскада имеет плавный, но значительный спад.

Конструктивно блок регулировок также представляет собой глухой железный кожух, внутри которого расположены все переключатели и регуляторы. Оси потенциометров регуляторов тембра выведены на одну из торцевых сторон кожуха, являющуюся лицевой. Оси всех установочных потенциометров (типа СПО или СП-0,4) выведены под шлиц внутри блока. Монтаж этого блока навесной, так как многие элементы схемы приходится подбирать при налаживании усилителя, что при печатном монтаже не удобно.

Так же как и в первом блоке, применена общая шина, изолированная от шасси.

В качестве коммутаторов $П_1$ и $П_2$ использованы малогабаритные переключатели дорожек от стереомагнитофона «Яуза-10»; переключатель $П_3$ — от телевизора «Темп-6» или «Темп-7», причем конструкция переключателя незначительно изменена: вместо двух защелок на три левые и три правые кнопки сделана одна общая защелка на все кнопки, а крайняя кнопка, разрывающая в телевизоре сетевую цепь, спилена. Таким образом получается переключатель на пять положений с автоматическим отключением всех ранее нажатых кнопок при нажатии на любую из них.

Для увеличения переходного затухания между трактами, между группами контактов, относящимися к разным трактам, установлены заземленные экраны из белой жести, обе стороны которых оклеены плотной бумагой для исключения замыканий в переключателях.

Еще раз напоминаем, что корпусы электролитических конденсаторов с шасси не соединены, а подключены к общей минусовой шине так же, как и центральные выводы входного и выходного разъемов.

Блок третий — оконечные каскады. В третьем блоке, схема которого приведена на рис. 72, имеются четыре двухтактных усилителя. Каждый из стереотрактов содержит два полосных усилителя: низкочастотный и высокочастотный. Низкочастотный усилитель состоит из фазоинвертора, собранного на двойном триоде 6Н2П и двухтактного ультралинейного оконечного каскада на лучевых тетродах 6П14П.

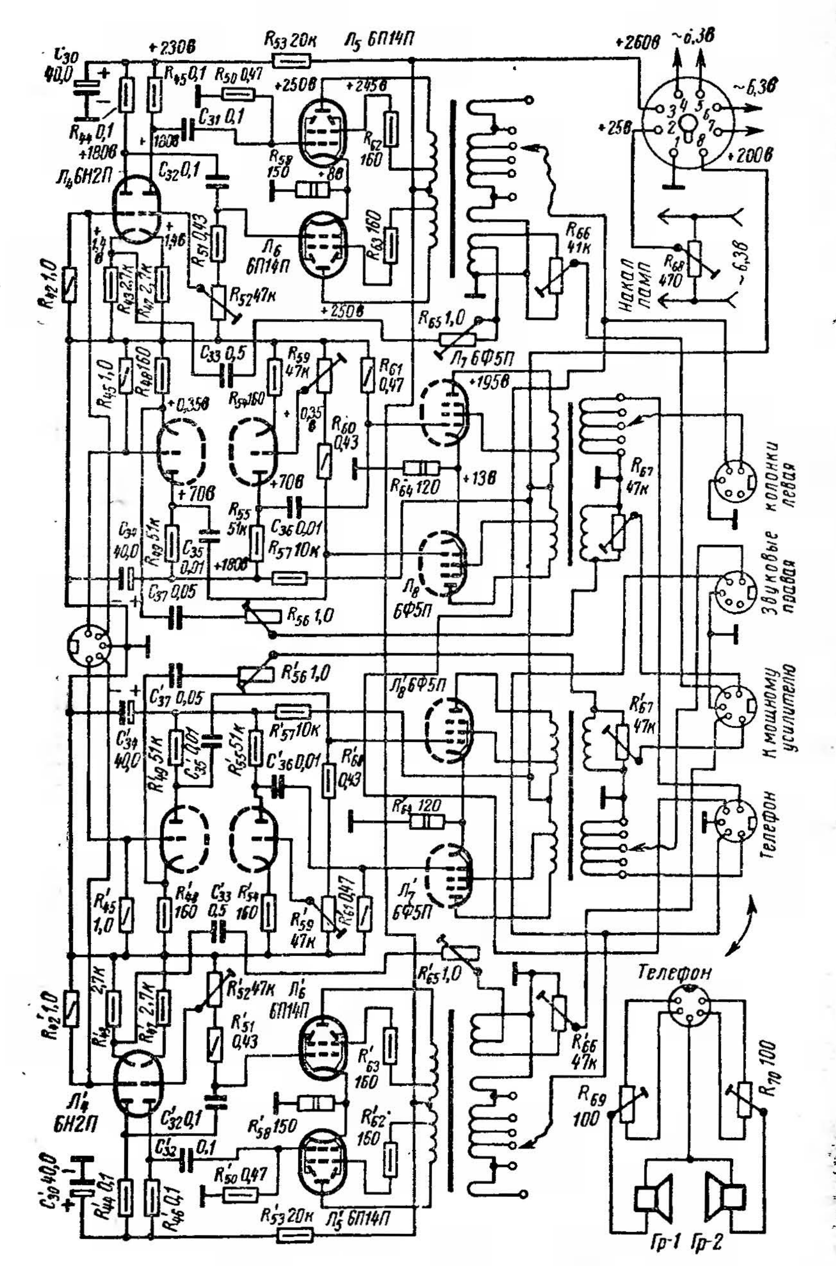


Рис. 72. Блок третий: оконечные усилители.

Весь усилитель с выхода до входа охвачен довольно глубокой отрицательной обратной связью по напряжению. Изменением глубины обратной связи с помощью установочного потенциометра R_{65} при налаживании усилителя устанавливают необходимую чувствительность.

Высокочастотный усилитель схемно построен так же, как и низкочастотный, однако содержит всего две лампы вместо трех, так как в фазоинверсном каскаде используются триоды, входящие в баллон оконечных ламп 6Ф5П.

Номинальная чувствительность низкочастотного усилителя порядка 0,3—0,5 *в*, высокочастотного — 0,2 *в*, однако цифры эти весьма условны и не обязательны, так как весь усилитель в целом, включая блоки I и II, имеет большой запас усиления и установочные регуляторы уровня в предыдущих блоках, поэтому соотношение уровней на входе и выходе стыкуемых блоков может быть достаточно произвольным.

Каждый из четырех усилителей оконечного блока имеет выходной трансформатор, вторичные обмотки которого секционированы, имеют много отводов и позволяют согласовать усилитель практически с любой нагрузкой.

Мы уже указывали выше, что эти усилители правильнее называть не оконечными, а предоконечными, так как вообще они рассчитаны на возбуждение действительно мощных (по 50 *вт*) оконечных блоков. Именно для этого один из выходов каждого канала описываемого блока обеспечивает на одном из разъемов плавно регулируемые выходные напряжения порядка 100 *в* для низкочастотного и 20 *в* для высокочастотного сигналов. Регулировка осуществляется установочными потенциометрами R_{66} и R_{67}, выведенными под шлиц.

Однако достаточная мощность выходных каскадов этого блока (порядка 6—8 *вт* для низкочастотного и 2—3 *вт* для высокочастотного) позволяют нагружать их либо на группу из 5—6 пар электродинамических телефонов, либо на небольшие (порядка 8—12 *вт*) акустические громкоговорящие системы. Для этой цели одна из обмоток на каждом выходном трансформаторе секционирована и рассчитана на подключение нагрузок от 2 до 14 *ом*.

При регулировке усилителя очень важно с максимально возможной степенью точности сбалансировать выходные напряжения фазоинвертора. Для этой цели в схеме предусмотрены установочные потенциометры R_{52} и R_{59}. С их помощью добиваются одинаковых значений напряжения возбуждения на сетках ламп двухтактного оконечного каскада.

Наконец, еще два установочных регулятора конструктивно размещены в небольшом блоке вместе с фишкой головных телефонов. Это потенциометры R_{69} и R_{70}. Они нужны для того, чтобы из двух раздельных сигналов (НЧ и ВЧ) каждого тракта получить путем пропорционального смешивания один широкополосный сигнал. Вращением осей этих потенциометров добиваются правильного соотношения мощностей двух складываемых сигналов на каждом из наушников.

Б л о к ч е т в е р т ы й — и с т о ч н и к п и т а н и я и с и с т е м а и н д и к а ц и и. Полная схема блока питания приведена на рис. 73. Блок имеет один общий силовой трансформатор, два мостовых выпрямителя B_1 и B_2 и шесть групп накала ламп со специальными антифонными устройствами.

Первые две независимые обмотки накала входных ламп первого блока дают пониженное напряжение (порядка 5,9 *в*), и каждая из них внутри первого блока подключена к балансировочным потенциометрам R_{30} и R_{31}, с помощью которых при регулировке усилителя добиваются минимального уровня фона в соответствующем канале. Третья лампа первого блока имеет свою обмотку накала, а ее балансировочный потенциометр размещен в блоке питания вместе со всеми остальными потенциометрами.

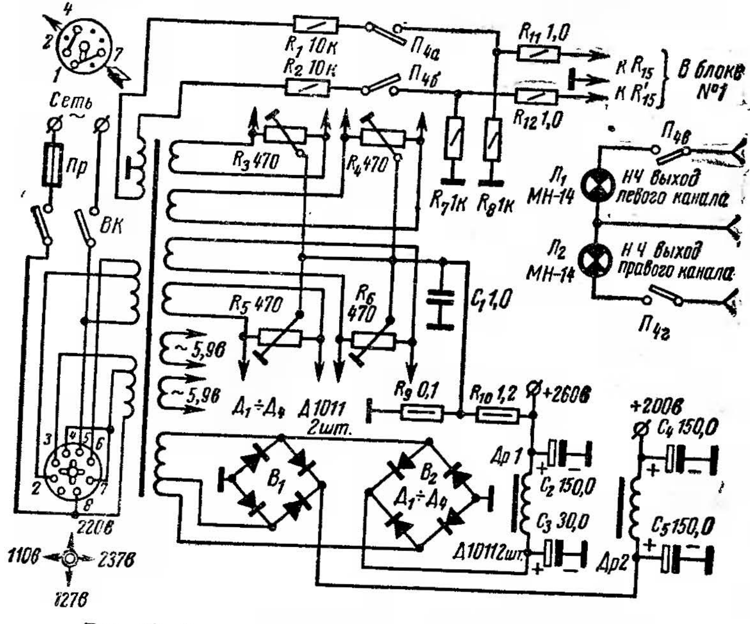


Рис. 73. Блок питания и индикации стереоустановки.

Еще одна отдельная обмотка накала питает все лампы второго блока и, наконец, две мощные обмотки питают накал ламп в каждом канале третьего, оконечного блока.

Движки всех потенциометров в цепях накала (кроме входных ламп) подключены к делителю, состоящему из резисторов R_9 и R_{10} и конденсатора C_1, создающему постоянный положительный потенциал (+20 *в*) относительно шасси.

На схеме блока питания показан еще и индикатор стереобаланса с относящимися к нему цепями, хотя и конструктивно и схемно он должен быть отнесен к оконечному блоку. Сделано это исключительно из соображений более удобного размещения цепей на схемах и обусловлено форматом книги.

Цепь индикации состоит из отдельной обмотки силового трансформатора, делителя напряжения (резисторы R_1, R_2, R_7, R_8, R_{11} и R_{12}), включателей индикатора $П_{4а}$, $П_{4б}$, $П_{4в}$, $П_{4г}$, а также фотометрического сравнивателя уровней ($Л_1$ и $Л_2$).

Включатели конструктивно совмещены с регулятором стереобаланса и замыкаются при вытягивании ручки регулятора на себя. При этом напряжение с частотой 50 *гц* от обмотки силового трансформатора подается на указанные выше делители, а с них — на установочные потенциометры R_{15}, R'_{15} первого блока, а лампочки фотометра одновременно подключаются к низкочастотным выходам соответствующих трактов.

Поставив ручку регулятора стереобаланса приблизительно в среднее положение, с помощью регулятора громкости устанавливают достаточную, но не чрезмерную яркость свечения фотометра, после чего вращением ручки регулятора стереобаланса добиваются одинаковой освещенности обеих половин матового стекла фотометра. После этого выключают схему индикации нажатием на ручку регулятора стереобаланса до щелчка.

Устройство и принцип работы фотометра подробно описаны в § 18, а его схема приведена на рис. 52, *в*. Важно указать, что для фотометра нужно подобрать пару совершенно одинаковых по электрическим и световым характеристикам индикаторных лампочек.

Силовой трансформатор намотан на каркасе и собран на железе от силового трансформатора для телевизора «Темп-6М» («Темп-7М») с использованием его сетевых обмоток. Трансформатор имеет следующие данные. Сталь Э-310-0,35, ленточный сердечник, толщина набора 40 *мм*. Две сетевые обмотки по 455 витков провода ПЭЛ-0,69 с отводами от 394-го витка. Повышающая обмотка состоит из 700 витков провода ПЭЛ-0,44 с отводами от 600, 550 и 475-го витков для подбора точного значения выпрямленного напряжения под нагрузкой. Обмотки накала первых ламп имеют по 20 витков провода ПЭЛ-0,44, обмотки III и IV — по 25 витков провода ПЭВ-0,8 обмотки накала мощных ламп — по 26 витков провода ПЭВ-1,0. Обмотка схемы индикации стереобаланса состоит из 10 витков провода ПЭЛ-0,2.

Дроссели фильтра намотаны на железе сечением 19×28 *мм* и имеют по 1 800 витков провода ПЭЛ-0,29.

Выходные трансформаторы для низкочастотных оконечных каскадов имеют те же данные, что приведены на рис. 65, за исключением наличия дополнительной выходной обмотки для мощного оконечного усилителя, состоящей из 300 витков провода ПЭЛ-0,2, намотанной поверх всех остальных обмоток.

Выходные трансформаторы для высокочастотных оконечных каскадов намотаны на самодельных каркасах для сердечника из феррита Ф-2000. Для этой цели автор использовал сгоревшие строчные трансформаторы от телевизоров со 110° отклонением (ТВС-110). С сердечника срезаются полностью все обмотки, склеенный сердечник аккуратно распиливают по месту склейки, изготовляют из прессшпана или самого тонкого плексигласа каркасы (по два на каждый трансформатор), на одном из которых наматывают первичные, а на другом — вторичные обмотки. При сборке транформатора обе половинки сердечника вновь склеивают клеем БФ. Перед склейкой нужно тщательно отшлифовать стыкуемые срезы сердечника мелкой шкуркой Общий вид собранного трансформатора приведен на рис. 74.

Каждая половина первичной обмотки намотана проводом ПЭВ-0,2 и содержит 600 витков (отвод от 250-го витка). Вторичная обмотка для выхода на мощный оконечный усилитель имеет 300 витков провода ПЭВ-0,15, а обмотка для подключения громкоговорите-

лей и головных телефонов намотана проводом ПЭВ-0,8 до заполнения каркаса с отводами через каждые 15—20 витков.

Описанная установка сложна (даже без экспандера и блока мощных усилителей). Поэтому она доступна для повторения только опытным квалифицированным радиолюбителям. Регулировка установки невозможна без хороших измерительных приборов. В первую очередь это относится к измерителю к.н.и. и генератору синусоидального напряжения.

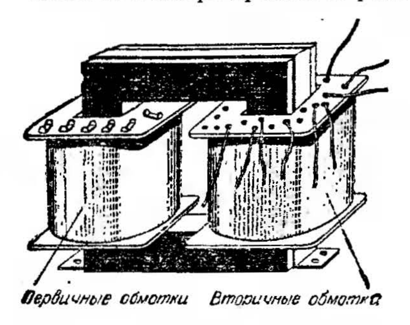


Рис. 74. Внешний вид собранного выходного трансформатора высокочастотного усилителя.

В то же время опытным квалифицированным радиолюбителям нет нужды слишком подробно расписывать каждую деталь в схеме и конструкции установки. Поэтому мы ограничимся приведенным выше описанием, оставив вопросы конструкторского, компоновочного и оформительного характера для решения читателям.

Укажем лишь, что перед окончательной сборкой всей установки необходимо тщательно и полностью отрегулировать и испытать каждый из блоков в отдельности. Без этого регулировка усилителя в целом будет слишком трудоемкой.

Заземление всех без исключения нулевых шин и корпусов всех блоков производится обязательно отдельными самостоятельными проводами на одну общую точку заземления минусового вывода выпрямителя в блоке питания. Без соблюдения этого непременного правила радиолюбитель не сможет достигнуть требуемого уровня фона порядка —70 *дб*.

В заключение скажем, что вовсе не обязательно полностью и точно копировать всю установку от начала до конца. Каждый радиолюбитель может использовать для своей установки те или иные блоки или отдельные схемные решения описанной установки, сочетая их с блоками или конструкциями, уже имеющимися у него, или изготавливаемыми по другим описаниям.

29. ТРЕХПОЛОСНАЯ СТЕРЕОФОНИЧЕСКАЯ АКУСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОТКРЫТОГО ТИПА

Описываемая акустическая система может быть рекомендована радиолюбителям как компромисс между качеством звучания и качеством входящих в нее громкоговорителей. Чисто схемными и конструктивными решениями (соединение громкоговорителей между собой, применение электрических разделительных фильтров, использование «музыкальной» ели для щита, разделение объема воздуха внутри агрегата и др.) удалось добиться неплохих акустических показателей при использовании обычных серийных громкоговорителей.

Такая система, будучи доступной для изготовления большинству радиолюбителей, сможет обеспечить качество звучания по нормам стандартного Hi-Fi класса почти во всех случаях радиолюбительской практики.

Система состоит из двух одинаковых вертикальных колонок, каждая из которых содержит по пять громкоговорителей. В качестве низкочастотного используется громкоговоритель типа 6ГД-2 от радиолы «Симфония-2» с частотой собственного механического резонанса 34 *гц*. Роль среднечастотного выполняет громкоговоритель типа 4ГД-7 с собственной резонансной частотой 60 *гц* и верхней границей 12 000 *гц*, однако с помощью разделительного фильтра его частотная характеристика ограничена с нижней стороны частотой 100 *гц*, чтобы исключить влияние резонансного пика на равномерность общей частотной характеристики в области низких частот.

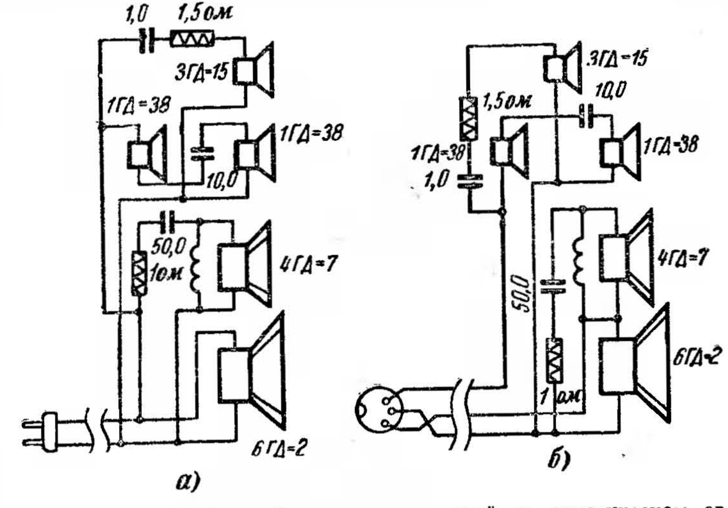


Рис. 75. Схема соединений громкоговорителей в акустическом агрегате.

а — при питании от однополосного усилителя; *б* — при питании от двухполосного усилителя.

Помимо него, в среднечастотную группу входят еще два громкоговорителя типа 1ГД-28, основное назначение которых — уменьшить неравномерность общей частотной характеристики в области от 1 до 10 *кгц*. Наконец, пятый громкоговоритель типа 3ГД-15 работает на частотах от 10 до 18 *кгц*.

Принципиальная схема одной звуковой колонки приведена на рис. 75. Вариант рис. 75, *а* является основным и рассчитан на питание от одного широкополосного усилителя, поскольку большинство радиолюбителей пока что предпочитает одноканальные усилители.

Вариант рис. 75, *б* предполагает наличие двухканального усилителя и подключается к нему трехпроводным шлангом, причем в этом случае желательно помимо имеющегося в колонке высокочастотного громкоговорителя применить еще по одному выносному излучателю для каждой колонки, подобрав для него наивыгоднейшее место на стене или в углу комнаты на уровне 1,5—2,0 *м* от пола. В качестве

выносного можно использовать такой же громкоговоритель, что и в колонке (3ГД-15), или типа ВГД-2.

Для уменьшения интермодуляционных искажений внутри каждой колонки установлена перегородка, отделяющая часть внутреннего объема, относящуюся к высокочастотным излучателям, от остального пространства. Наличие этой перегородки значительно улучшает качество звучания, создавая ту самую «прозрачность», которую стремятся получить, увеличивая обычно наугад количество высокочастотных громкоговорителей.

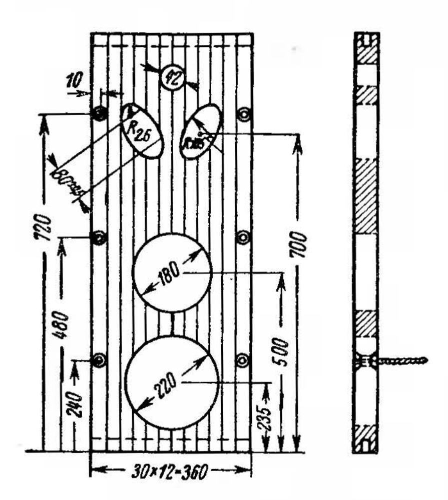


Рис. 76. Передний щит для акустического агрегата.

Перегородка сделана многослойной: листовая микропористая резина толщиной 6—8 *мм* с двух сторон оклеена тонкой фанерой или алюминием исключительно для придания перегородке жесткости. Можно ограничиться фанерой и с одной стороны, наклеив на нее резиновый лист.

Склеенную заготовку с обеих сторон обязательно оклеивают еще и войлоком или ватином, чтобы перегородка имела минимальный коэффициент отражения. Все внутренние поверхности футляра с этой же целью также обязательно покрывают войлоком или ватином.

Катушка разделительного фильтра громкоговорителя 4ГД-7 бескаркасная, намотана на оправке с внутренним диаметром 30 *мм*, и шириной 20 *мм*. Число витков — 430, провод — ПЭВ-0,44 *мм*, индуктивность — 100—120 *мкгн*. Готовая катушка обмотана изоляционной лентой и укреплена на щите скобой либо с помощью плексигласового донышка и шурупа.

Конденсаторы разделительных фильтров — бумажные, типов МБГП, МБМ или им подобные. Выравнивающие резисторы — самодельные, проволочные, намотанные константаном или манганином на корпусе обычного резистора типа ВС-0,25 или ВС-0,5 любого номинала.

Щит сделан составным. Он склеен из отдельных брусков «музыкальной» ели прямоугольного сечения (25×25 *мм*). Конструкция щита ясна из рис. 76, где приведены и все его размеры. Советуем радиолюбителям после выпиливания всех необходимых отверстий под громкоговорители зачистить шкуркой внутренние торцевые поверхности отверстий и после этого промазать их каким-нибудь клеем, чтобы во время работы агрегата в громкоговорители не попадали опилки и деревянная крошка. С этой же целью все громкоговорители нужно поместить в марлевые мешочки.

На рис. 77 приведен чертеж футляра агрегата. Для крепления щита в футляре установлены три бруска (два на боковых стенках и

один на крышке) с просверленными в них отверстиями для крепежных болтов. Крепежные болты диаметром 5 *мм* и длиной не менее 60 *мм* заранее устанавливают в утопленных гнездах в щите, надеж-

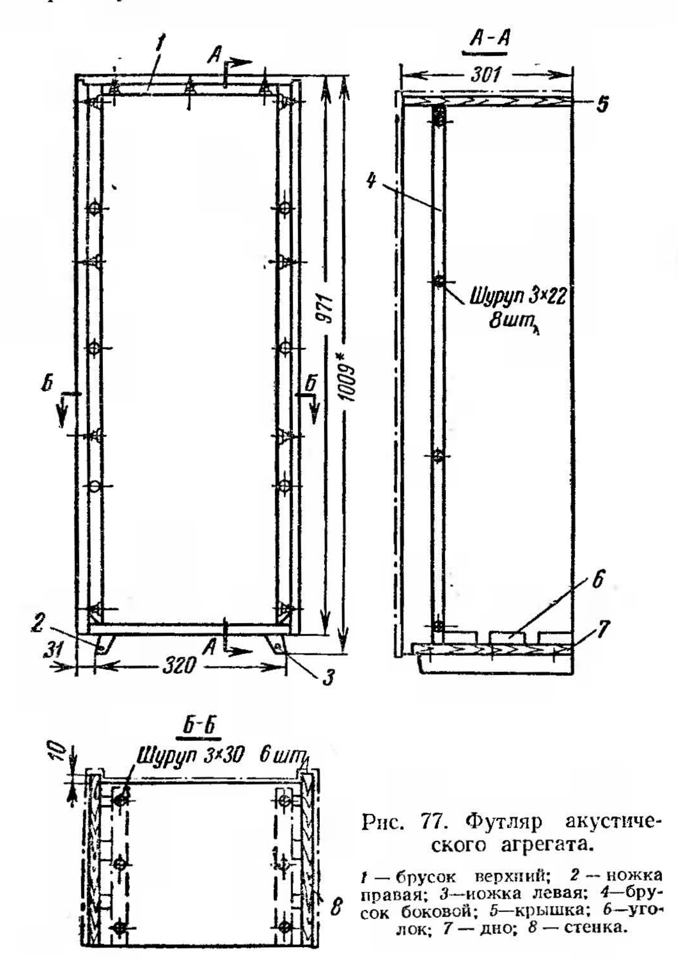


Рис. 77. Футляр акустического агрегата.

1 — брусок верхний; *2* — ножка правая; *3*—ножка левая; *4*—брусок боковой; *5*—крышка; *6*—уголок; *7* — дно; *8* — стенка.

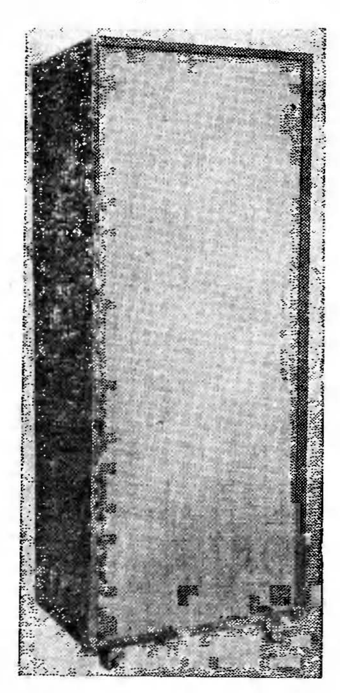
но затягивают их гайками и закрашивают нитрокраской во избежание их самоотворачивания при сборке. Только после этого щит оклеивают драпировочной тканью.

Полностью собранный щит вставляют в футляр спереди, крепежные болты пропускают через отверстия в крепежных брусках футляра и затягивают сзади вторыми гайками.

Для того чтобы предельно уменьшить нежелательное «звучание» корпуса футляра (в основном его боковых стенок) все четыре тор-

ца полностью собранного и задрапированного щита перед установкой в футляр оклеивают тонкими полосками листовой резины, служащими демпфером. Такие же полоски прокладывают между щитом и соприкасающимися с ним сторонами крепежных брусков футляра.

Задняя стенка футляра сделана точно такой же, как и изображенная на рис. 62. Подробное описание ее приведено в § 25.



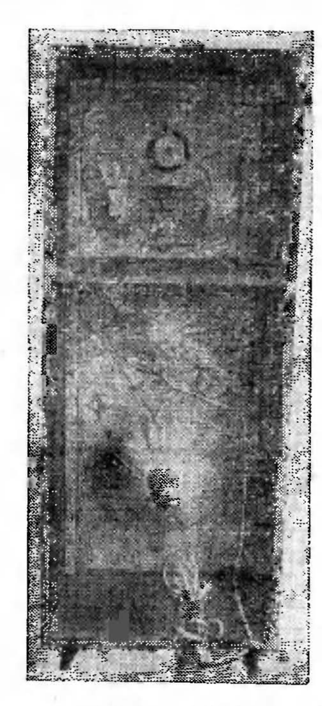


Рис. 78. Внешний и внутренний вид акустического агрегата.

Если агрегаты будут устанавливаться на паркетном полу, то полезно на их ножки-полозья наклеить снизу тонкие полоски резины, предотвращающие появление дребезжаний при большой громкости.

В заключение напоминаем о необходимости фазирования всех громкоговорителей внутри колонок, а также обеих колонок между собой.

Внешний и внутренний вид собранного агрегата приведен на рис. 78.

30. МОЩНАЯ ДВУХПОЛОСНАЯ СТЕРЕОФОНИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА

Установка, принципиальная схема которой приведена на рис. 79, состоит из двух одинаковых усилительных трактов — левого и пра-

Рис. 79. Принципиальная схема мощной стереофонической установки.

вого. Каждый из них в свою очередь представляет собой двухполосный усилитель с разделением спектра от входа и до выхода. Низкочастотный усилитель содержит фазоинвертор на мощном двойном триоде типа 6Н6П и двухтактный ультралинейный оконечный каскад на лампах ГУ-50 в классе AB_1.

В высокочастотном усилителе фазоинвертор собран на лампе 6Н2П, а оконечный каскад на двух лампах 6П14П также по ультралинейной схеме, но в классе А. Номинальная мощность низкочастотного

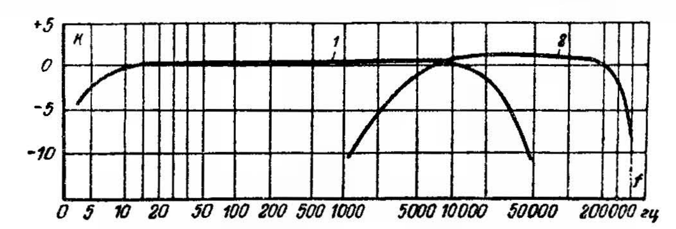


Рис. 80. Частотные характеристики мощной стереофонической установки.

а — низкочастотный усилитель; *б* — высокочастотный усилитель.

усилителя 35 *вт* при к. н. и. $\leqslant 1{,}0\%$, высокочастотного — около 10 *вт* при к.н.и.$=0{,}5\div0{,}7\%$. Сквозная полоса пропускания всего усилителя в целом 5—250 000 *гц*. Частотная характеристика усилителя приведена на рис. 80.

Входные цепи усилителя содержат коммутатор трактов, подобный описанному в § 28, который позволяет использовать либо каждый из стереотрактов порознь, либо оба вместе (параллельная работа), либо в режиме воспроизведения стереофонических программ.

Кроме коммутатора входные цепи содержат общий регулятор уровня в виде счетверенного потенциометра R_1, R_5, R_1', R_5' и регулятор стереобаланса на сдвоенном потенциометре R_9—R_{12}, выведенные на лицевую панель как основные органы управления, а также два установочных потенциометра R_3 и R_3', с помощью которых при регулировке усилителя устанавливают необходимое соотношение между мощностями высокочастотного и низкочастотного каналов.

Фазоинвертор в каждом из усилителей является одновременно и усилителем напряжения. Для обеспечения минимальных нелинейных искажений предусмотрена регулировка симметрии выходных напряжений фазоинвертора с помощью установочного потенциометра R_{23} в низкочастотном канале и с помощью потенциометра R_{24} — в высокочастотном.

Резисторы R_{28} и R_{29} служат для обеспечения режима экранирующих сеток ламп ГУ-50 по постоянному току, а включенные параллельно этим резисторам конденсаторы C_8 и C_9 являются блокировочными, так как без них резисторы R_{28} и R_{29} вносят искажения в нормальный ультралинейный режим каскада.

При монтаже усилителя нужно обратить внимание на то, что корпуса этих конденсаторов изолированы от шасси и имеют по отношению к нему потенциал порядка 200—250 *в*, что требует принятия защитных мер от случайного поражения током. С этой целью корпуса конденсаторов должны быть надежно обмотаны хлорвиниловой изоляционной лентой, либо на них нужно надеть отрезки хлорвиниловой трубки, длина которых будет на 10—15 *мм* превышать длину конденсаторов.

Каждый из четырех усилителей охвачен глубокой отрицательной обратной связью, напряжение которой снимается со вторичных обмоток выходных трансформаторов и через делитель подается на катод первой лампы фазоинвертора. Регулировкой установочных потенциометров R_{11}, R_{18}, R_{11}', R_{18}' можно установить глубину обратной связи и тем самым номинальную чувствительность со входа усилителя.

Вторичные обмотки всех четырех выходных трансформаторов секционированы и коммутируются переключателями $П_2$, $П_3$, $П_2'$ и $П_3'$, что позволяет подключать к усилителю различные варианты акустических систем

В качестве всех коммутаторов для установки используются галетные переключатели типа ПУМ (переключатель универсальный многопозиционный). Переключатель $П_1$ рода работ содержит три галеты, каждая на две группы по пять положений (пятое положение не используется), остальные переключатели — по одной такой галете.

Потенциометр регулятора уровня сигнала состоит из двух одинаковых спаренных потенциометров $2\times1{,}0$ *Мом*, которые связаны между собой и с общей ручкой управления с помощью шестеренчатых передач. Регулятор балансировки стереоканалов — обычный спаренный потенциометр $2\times1{,}0$ *Мом* типа «А». Потенциометры R_{30} и R_{30}' нужны для установки рабочей точки мощного оконечного каскада низкочастотного усилителя. Эти потенциометры, так же как и все остальные установочные, типа СП-0,5 или СП-1.

Выходные трансформаторы низкочастотных усилителей $Тр_1$ и $Тр_1'$ намотаны на сердечниках из железа Ш-28, толщина набора 40 *мм*. Две первичные обмотки содержат по 1 000 витков провода ПЭВ-0,31 с отводами от 350-го витка. Вторичная обмотка состоит из 50 витков провода ПЭВ-1,0 с отводами от 10, 25 и 40-го витков, причем расположена она между первичными обмотками.

Выходной трансформатор высокочастотных усилителей такой же, как и в предыдущем описании (§ 28), т. е. намотан на ферритовом сердечнике от выходного строчного трансформатора телевизора (ТВС-110°).

Конструкцию и схему блока питания мы описывать не будем, так как они не существенны. Укажем лишь, что в блоке должны быть три независимых выпрямителя: один на напряжение 270 *в* и номинальный ток 300 *ма* для питания анодных и экранных цепей всех ламп, кроме ГУ-50, другой на рабочее напряжение 550—600 *в* и ток порядка 500 *ма* для питания анодных и экранных цепей ламп ГУ-50 и третий на напряжение 60—80 *в* и ток до 20 *ма* для цепей смещения этих ламп. Каждый из выпрямителей должен иметь хороший *LC*-фильтр, причем для первого и третьего выпрямителей можно применить электролитические конденсаторы большой емкости (150—300 *мкф*), тогда как для второго выпрямителя в качестве фильтрующих емкостей придется использовать металло-бумажные конденсаторы на рабочее напряжение 750—1 000 *в*. Так как среди этих конденсаторов нет таких, емкость которых превышает 10 *мкф*, для получения хорошей фильтрации возможно придется сделать двухзвенный фильтр с двумя дросселями и тремя конденсаторами.

В качестве выпрямительных элементов автор использовал для первого выпрямителя четыре диода типа Д-205, для третьего (низковольтного) — селеновый мостовой элемент АВС-80-260. Второй выпрямитель собран на подогревном кенотроне типа 5Ц8С. Первый и третий выпрямители собраны по мостовой схеме, второй — по обычной двухполупериодной.

Регулировка усилителей проста и не отличается от регулировки обычных УНЧ, и мы не будем останавливаться на ней подробно. Укажем только, что перед началом регулировки потенциометры регуляторов стереобаланса и соотношения мощностей ВЧ и НЧ усилителей должны быть установлены точно в среднее положение, регуляторы балансировки фазоинверторов — в положения, при которых их движки заземлены, потенциометры в катодах первых ламп фазоинверторов — в положение минимальной обратной связи (движки заземлены), а регулятор смещения оконечных ламп НЧ канала (R_{30} и R'_{30}) обязательно в положение, при котором на сетках ламп ГУ-50 будет максимальное отрицательное смещение. При несоблюдении последнего условия лампы ГУ-50 выйдут из строя в течение нескольких минут.

После проверки режимов ламп по постоянному току на соответствие указанным в принципиальной схеме и их подгонки (в случае необходимости) подают на вход одного из стереотрактов сигнал с частотой 1 000 *гц* и с помощью балансировочных потенциометров фазоинверсных каскадов добиваются одинаковых напряжений на сетках ламп оконечных каскадов. Напряжение сигнала должно быть не очень большим (3—5 *в*) на сетках ламп 6П14П и 8—10 *в* на сетках ГУ-50.

Следующий этап — установка номинальной чувствительности трактов. Эту операцию нужно производить после регулировки обоих трактов и в режиме параллельной работы (переключатель $П_1$ в положении «моно»). Чувствительность обоих трактов должна быть совершенно одинаковой.

После этого устанавливают необходимое соотношение мощностей ВЧ и НЧ усилителей, причем это соотношение также должно быть одинаковым для правого и левого стереотрактов.

В заключение проверяют работу регуляторов уровня и стереобаланса.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВНИМАНИЮ РАДИОЛЮБИТЕЛЕЙ

На складе Издательства имеется справочник А. Г. Соболевского «Тестеры и авометры», Массовая радиобиблиотека, Вып. 479, 40 стр. с илл,. ц. 9 коп.

Справочник содержит основные сведения о работе с тестерами и авометрами — комбинированными многопредельными приборами, предназначенными для измерения тока, напряжения и сопротивления. В нем указаны электрические данные приборов, наиболее распространенных в практике радиолюбителей, приведены принципиальные схемы этих приборов и даны рисунки, поясняющие включение приборов при различных измерениях.

Предназначен для широкого круга радиолюбителей.

Заказы на справочник просьба направлять по адресу: Москва, Ж-114, Шлюзовая набережная, 10, издательство «Энергия». Отдел сбыта.

Книги высылаются наложенным платежом (без задатка).

Гендин Геннадий Семенович

Высококачественное звуковоспроизведение

Редактор *А. П. Ефимов*

Обложка художника *А. М. Кувшинникова*

Технический редактор *Л. В. Иванова* Корректор *З. Б. Шлайфер*

Сдано в набор 23/V 1969 г. Подписано к печати 23/V 1969 г. Т-11591
Формат 84×108 1/32 Бумага типографская № 2. Усл. печ. л. 8,4
Уч.-изд. л. 11,21. Тираж 50 000 экз. Цена 45 коп. Зак. 823

Издательство «Энергия». Москва, Ж-114, Шлюзовая наб, 10.

Владимирская типография Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР.
Гор. Владимир, ул. Победы, д. 18-б.

Мне всегда нравились старые, сильно потрёпанные книжки. Потрёпанность книги говорит о её высокой востребованности, а старость о вечно ценном содержании. Всё сказанное в большей степени касается именно технической литературы. Только техническая литература содержит в себе ту великую и полезную информацию, которая не подвластна ни политическим веяниям, ни моде, ни настроениям! Только техническая литература требует от своего автора по истине великих усилий и знаний. Порой требуется опыт целой жизни, чтобы написать небольшую и внешне невзрачную книгу.

К сожалению ни что не вечно в этом мире, книги треплются, разваливаются на отдельные листы, которые затем рвутся в клочья и уходят в никуда. Плюс ко всему орды варваров, которым без разницы, что бросить в костёр или чем вытереть свой зад. Именно их мы можем благодарить за сожженные и растоптанные библиотеки.

Если у Вас есть старая книга или журнал, то не дайте им умереть, отсканируйте их и пришлите мне. Совместными усилиями мы можем создать по истине уникальное и ценное собрание старых технических книг и журналов.

Сайт старой технической литературы:

http://retrolib.narod.ru